

File 351:Derwent WPI 1963-2006/UD=200654
(c) 2006 The Thomson Corporation

1/5/1
DIALOG(R) File 351:Derwent WPI
(c) 2006 The Thomson Corporation. All rts. reserv.

0004794285 - Drawing available
WPI ACC NO: 1989-165732/ 19 8922
Related WPI Acc No: 1994-074692; 1996-454720; 1997-235478
Automated laminography system for electronic component inspection - has
computer to control automated positioning system to analyse data
Patent Assignee: FOUR PI SYST CORP (FOUR-N); FOUR PI SYSTEMS (FOUR-N);
FOUR PI SYSTEMS CORP (FOUR-N)

Inventor: ADAMS J A; BAKER B D; COREY R; COREY R L; ROSS E W
Patent Family (10 patents, 12 countries)

| Patent Number | Kind | Date | Application Number | Kind | Date | Update |
|---------------|------|----------|--------------------|------|----------|----------|
| WO 1989004477 | A | 19890518 | WO 1988US3423 | A | 19881004 | 198922 B |
| EP 355128 | A | 19900228 | EP 1988909919 | A | 19881004 | 199009 E |
| US 4926452 | A | 19900515 | US 1987115171 | A | 19871030 | 199024 E |
| JP 2501411 | W | 19900517 | JP 1988509124 | A | 19881004 | 199026 E |
| US 5081656 | A | 19920114 | US 1987115171 | A | 19871030 | 199206 E |
| | | | US 1990463523 | A | 19900111 | |
| US 5097492 | A | 19920317 | US 1987115171 | A | 19871030 | 199214 E |
| | | | US 1990479092 | A | 19900212 | |
| CA 1323453 | C | 19931019 | CA 579869 | A | 19881012 | 199348 E |
| EP 355128 | A4 | 19910717 | WO 1988US3910 | A | 19881102 | 199517 E |
| EP 355128 | B1 | 19960103 | EP 1988909919 | A | 19881004 | 199606 E |
| | | | WO 1988US3423 | A | 19881004 | |
| DE 3854865 | G | 19960215 | DE 3854865 | A | 19881004 | 199612 E |
| | | | EP 1988909919 | A | 19881004 | |
| | | | WO 1988US3423 | A | 19881004 | |

Priority Applications (no., kind, date): US 1990479092 A 19900212; US
1990463523 A 19900111; US 1987115171 A 19871030

Patent Details

| Number | Kind | Lan | Pg | Dwg | Filing Notes |
|--|------|-----|-----|-----|-------------------------------|
| WO 1989004477 | A | EN | 113 | 24 | |
| National Designated States, Original: JP | | | | | |
| Regional Designated States, Original: AT BE CH DE FR GB IT LU NL SE | | | | | |
| EP 355128 | A | EN | | | |
| Regional Designated States, Original: AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE | | | | | |
| US 5097492 | A | EN | 42 | | |
| CA 1323453 | C | EN | | | |
| EP 355128 | A4 | EN | | | |
| EP 355128 | B1 | EN | 60 | 24 | PCT Application WO 1988US3423 |
| Based on OPI patent WO 1989004477 | | | | | |
| Regional Designated States, Original: AT BE CH DE FR GB IT LI LU NL SE | | | | | |
| DE 3854865 | G | DE | | | Application EP 1988909919 |
| PCT Application WO 1988US3423 | | | | | |
| Based on OPI patent EP 355128 | | | | | |
| Based on OPI patent WO 1989004477 | | | | | |

BEST AVAILABLE COPY

Alerting Abstract WO A

The tomographic inspection system has an electron beam (285) of microfocus X-ray tube (200) deflected in a circular scan pattern onto the tube anode (287) in synchronisation with a rotating detector (30) that converts the X-ray shadowgraph into an optical image and derotates the image so as to be viewed and integrated in a stationary video camera (258). A computer system (270, 272) controls an automated positioning system (230) that supports the item under inspection (210) and moves successive areas of interest into view. In order to maintain high image quality, a computer system also controls the synchronisation of the electron beam deflection and rotating optical system, making adjustments for inaccuracies of the mechanics of the system.

The computer system (270, 272) can also operate under program control to automatically analyse data, measure characteristics of the item under inspection (210) and make decisions regarding the acceptability of the item's quality.

USE/ADVANTAGE - Produces high resolution images in rapid succession suitable for use in conjunction with manufacturing production lines and capable of inspecting electronic devices (212), solder connections (214), printed wiring boards (210) and other assemblies.

Equivalent Alerting Abstract US A

The tomographic inspection system has the electron beam of a microfocus X-ray tube deflected in a circular scan pattern onto the tube anode in synchronisation with a rotating detector that converts the X-ray shadowgraph into an optical image and derotates the image to be viewed and integrated in a stationary video camera. A computer system controls an automated positioning system that supports the item under inspection and moves successive areas of interest into view.

To maintain high image quality, a computer system also controls the synchronisation of the electron beam deflection and rotating optical system, making adjustments for inaccuracies of the mechanics of the system. The computer system can also operate under program control to automatically analyse data, measure characteristics of the item under inspection and make decisions regarding the acceptability of the item's quality.

USE - Produces high resolution images in rapid succession to be suitable for use in conjunction with manufacturing production lines and capable of inspecting electronic devices, solder connections, printed wiring boards and other assemblies. (39pp)

Equivalent Alerting Abstract US A

The tomographic inspection system deflects the electron beam of a microfocus X-ray tube in a circular scan pattern onto the tube anode in synchronisation with a rotating detector that converts the X-ray shadowgraph into an optical image and derotates the image so as to be viewed and integrated in a stationary video camera. A computer system controls an automated positioning system that supports the item under inspection and moves successive areas of interest into view. Suitable for use in conjunction with manufacturing production lines and capable of inspecting electronic devices, solder connections, printed wiring boards and other assemblies. A computer system also controls the synchronisation of the electron beam deflection and rotating optical system, making adjustments for inaccuracies of the mechanics of the system.

The computer system can also operate under program control to automatically analyse data, measure characteristics of the item under inspection and make decisions regarding the acceptability of the item's quality. High resolution images are produced in rapid succession.

ADVANTAGE - Maintains high image quality. (11pp)t

Equivalent Alerting Abstract US A

The electron beam of a microfocus X-ray tube is deflected in a circular scan pattern onto the tube anode in synchronisation with a rotating detector that converts the X-ray shadowgraph into an optical image and derotates the image so as to be viewed and integrated in a stationary video camera. A computer system controls an automated positioning system that supports the item under inspection and moves successive areas of interest into view.

In order to maintain high image quality, a computer system also controls the synchronisation of the electron beam deflection and rotating optical system, making adjustments for inaccuracies of the mechanics of the system. The computer system can also operate under program control to automatically analyse data, measure characteristics of the item under inspection and make decisions regarding the acceptability of the item's quality.

ADVANTAGE - Produces high resolution images in rapid succession so as to be suitable for use in conjunction with manufacturing production lines and capable of inspecting electronic devices, solder connections, printed wiring boards and other assemblies. (42pp)

Title Terms/Index Terms/Additional Words: AUTOMATIC; LAMINOGRAPHY; SYSTEM; ELECTRONIC; COMPONENT; INSPECT; COMPUTER; CONTROL; POSITION; ANALYSE; DATA .

Class Codes

International Classification (Main): G01N-023/02

(Additional/Secondary): G01N-023/04, G01R-031/00, H04N-007/00

US Classification, Issued: 378022000, 250358100, 378025000, 378058000, 378099000, 378137000, 378145000, 378205000, 382008000, 378021000, 358101000, 378004000, 378058000, 378062000, 382008000, 378022000, 378004000, 378025000, 378058000, 378062000, 378099000, 378205000

File Segment: EPI;

DWPI Class: S03; U11; V04

Manual Codes (EPI/S-X): S03-E06B; U11-F01C; V04-R04A; V04-R06

⑩ 日本国特許庁 (J P)

⑪ 特許出願公表

⑫ 公表特許公報 (A)

平2-501411

⑬ 公表 平成2年(1990)5月17日

⑭ Int. Cl.⁷
G 01 N 23/18
G 01 R 31/00

識別記号

庁内整理番号
7172-2G
7905-2G

審査請求 有
予備審査請求 未請求

部門 (区分) 6 (1)

(全 34 頁)

⑯ 発明の名称 エレクトロニクスの検査のための自動ラミノグラフィシステム

⑰ 特 願 昭63-509124

⑱ 出 願 昭63(1988)10月4日

⑲ 優先文提出日 平1(1989)6月30日

⑳ 国際出願 PCT/US88/03423

㉑ 国際公開番号 WO89/04477

㉒ 国際公開日 平1(1989)5月18日

優先権主張 ㉓ 1987年10月30日 ㉔ 米国 (U S) ㉕ 115,171

⑳ 発 明 者 ベイカー, ブルース・デュー

アメリカ合衆国、92024 カリフォルニア州 オリベンハイム、ラ
ンチョ・サンタ・フェ・ロード、250

㉑ 発 明 者 コウリ, ロバート・エル

アメリカ合衆国、92129 カリフォルニア州 サン・ダイエゴ、サ
ズー・ストリート、14441

㉒ 出 願 人 フォー・ビー・アイ・システム
ズ・コーポレーション

アメリカ合衆国、92127 カリフォルニア州 サン・ダイエゴ、テ
クノロジー・プレイス、10905

㉓ 代 理 人 弁護士 深見 久郎 外2名

㉔ 指 定 国 A T (広域特許), B E (広域特許), C H (広域特許), D E (広域特許), F R (広域特許), G B (広域特許), I T
(広域特許), J P, L U (広域特許), N L (広域特許), S E (広域特許)

最終頁に続く

請求の範囲:

1. 電線部 (212) と前記部 212 が上に設置さ
れている回路基板 (210) との間の半田接続部 (214)
の品質を検査および分析するための回路基板検査装置であ
って、前記回路基板検査装置が自動的に獲得され、デジタ
ル化されかつ分析される前記半田接続部 (214) の X 線
ラミノグラフィ断面画像を作成し、前記回路基板検査装置が、
電子ビーム (285) が射撃するターゲット (287)
の成る位置から X 線 (282) が放たれる X 線ソース (2
0) と、

前記電子ビーム (285) を前記ターゲット (287)
の異なる位置に偏向するための電気ステアリング装置 (2
81) とを含み、前記ステアリング装置 (281) が前記
電子ビーム (285) を成る軸 (40、404) に対して
回転させ、そして前記ターゲット (287) の上の実質的
に円形の経路をたどらせることができ、前記 X 線ソース
(20) を第1の円形パターンで動かし、前記第1の円形
パターンが第1の図 (62) を規定し、さらに

前記半田接続部 (214) と前記回路基板 (210) を
透過した前記 X 線ソース (20) によって発生した X 線
(282) を受取るために位置づけられた X 線ディテクタ
(30) を含み、前記 X 線ディテクタ (30) は、

前記透過 X 線 (282) によって形成され
た X 線画像に対応する光学画像を作成するた

めの投影スクリーン (250) と、

前記軸 (40、404) に対して回転しか
つ第2の円形パターンを規定する実質的に円
形経路に沿って進むように前記投影スクリー
ン (250) を動かすための手段 (256)
とを含み、前記第2の円形パターンが前記第
1の図 (62) と実質的に平行である第2の
図 (64) を規定し、さらに

前記光学画像を前記回転投影スクリーン
(250) から静止光学画像面に伝送するた
めの光学非回転装置 (252、254、25
6) と、

前記光学画像を検出するために前記静止光
学画像面に位置づけられたカメラ (258)
とを含み、前記カメラ (258) が前記光学
画像と対応する電子出力を有し、さらに

前記 X 線ソース (20) と投影スクリーン (250) の
円形運動を同期化するための制御システム (263、26
0) を含み、前記 X 線断面ラミノグラフィ断面の前記光学画
像装置が前記静止画像面で形成され、前記制御システムが、

前記第2の円形パターンに沿った前記投影
スクリーン (250) の位置をモニタしかつ
スクリーン位置と対応する経路を伝えるセン
サ (263) と、

前記センサ(263)から前記座標を受取って対応する信号を前記ステアリング装置(281)に伝えて、前記X線ソース(20)の動きを前記変換スクリーン(250)の前記写動と同期化させるルックアップテーブル(720x、720y)とを含有、さらに前記半田接合部(214)の前記断面画像を分析するためのデジタル画像処理システム(270、272)を含有、前記画像処理システム(270、272)が

前記カメラ(258)から前記電子画像信号を受取って、前記半田接合部(214)の前記X線断面画像と対応する前記画像のデジタル画像を形成する画像デジタイザ(270)と、

前記デジタル画像の所定領域をアクセスするようにかつ半田欠陥の特定の種類の特定フィッチャを表示するために前記領域を特定の命令セットに従って分析するようにプログラムされたプログラム制御計算の部分(272)とを含有、

ことを特徴とする、装置。

2. 前記X線ソース(20)が準超可変電子ビームX線管(200)を含む、請求項1に記載の装置。
3. 前記電気ステアリング装置(281)が磁界を発生

の面(62、64)に関して約45°の角度で配向される、請求項7に記載の装置。

9. 前記第1の鏡(254)が前記変換スクリーン(250)から前記光学画像を受取って前記何2の鏡(252)に映して、前記第2の鏡(252)がさらに前記画像を前記静止面像面に映す、請求項8に記載の装置。
10. 前記第2の鏡(252)が前記回転軸(40、404)と交差する、請求項8に記載の装置。
11. 前記カメラ(258)が低い光レベルビデオカメラ(258)を含む、請求項1に記載の装置。
12. 前記低い光レベルカメラ(258)がシリコン強化ターゲット増倍倍管を含む、請求項11に記載の装置。
13. 前記デジタル画像処理システム(270、272)が画像の平行画像プロセッサ(272a、272b...272n)を含む、請求項1に記載の装置。
14. 前記回路基板(210)を動かすための位置決めテーブル(230)をさらに含む、請求項1に記載の装置。
15. 印刷回路基板(210)に装着されている電気部品(212)間の電気的接続部(214)を検査するための装置であって、前記電気接続部(214)の断面画像を形成するための画像システム(20、30)と、前記断面画像を分析するための画像分析システム(270、272)とを、特徴とする装置。

させるコイル(281x、281y)を合んで前記電子ビーム(285)と相互作用してそれを偏向させる、請求項1に記載の装置。

4. 前記変換スクリーン(250)がタンゲステン酸カドミウムシンチレーション材料を含む、請求項1に記載の装置。

5. 前記断面画像が、前記第1および第2の面(62、64)と平行でありかつ前記回転軸(40、404)と交差する前記半田接合部214の面(60)と対応する、請求項1に記載の装置。

6. 前記半田接合部(214)の前記断面像(60)が、前記断面像(60)から前記第1の面(62)への距離が前記断面像(60)から前記第2の面(64)への距離よりも小さいように前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)の間に位置づけられている、請求項5に記載の装置。

7. 前記変換スクリーン(250)を動かすための前記手段が、前記軸(40、404)に対して回転しかつ前記変換スクリーン(250)が上に装着されている回転盤(256)をさらに含む、請求項1に記載の装置。

8. 前記光学非回転装置(252、254、256)が前記回転盤(256)に装着されている第1および第2の鏡(254、252)を含有、前記鏡(254、252)が前記回転軸(40、404)および前記第1および第2

16. 前記制御システム(20、30)がX線ソース(20)とX線ディテクタ(30)を含む、請求項15に記載の装置。

17. 前記画像システム(20、30)が前記電気接続部(214)のX線写真ノドグラフを作成する、請求項16に記載の装置。

18. 前記X線写真ノドグラフが前記電気接続部(214)に関して前記X線ソース(20)および前記X線ディテクタ(30)の動きによって作成される、請求項17に記載の装置。

19. 前記X線ソース(20)の前記動きが電気手段(281)によって発生され、前記X線ディテクタ(30)の前記動きが電子増倍的手段(256)によって発生され、前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)の動きが電気的フィードバックシステム(260)によって同期化および制御される、請求項18に記載の装置。

20. 前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)の前記動きが実質的に円形であり、ソース面(52)とディテクタ面(64)を規定する、請求項18に記載の装置。

21. 前記ソース面(62)と前記ディテクタ面(64)が実質的に平行である、請求項20に記載の装置。

22. 前記画像システムがコンピュータ化された断層撮影システムを含む、請求項16に記載の装置。

23. 前記電気部品(212)が電気接続パッド(1150)を含み、前記回路基板(210)が電気接続パッド(1260)を含み、前記電気接続部(214)が前記電気部品コネクタパッド(1160)と前記回路基板コネクタパッド(1360)との間に導電性のボンド(1360)を含む、請求項15に記載の装置。
24. 前記電気接続部(214)が前記電気部品接続パッド(1160)と前記回路基板接続パッド(1260)との間に半田ボンド(1360)を含む、請求項23に記載の装置。
25. 前記画像分析システム(270、272)が前記断面画像に特定フィーチャを抜き、請求項15に記載の装置。
26. 前記画像分析システム(270、272)が、前記画像の所定の位置で前記断面画像に対して所定のテストを行なうことによって前記特定のフィーチャを識別する、請求項25に記載の装置。
27. 前記特定フィーチャの1つが半田接続欠陥(1370)を含む、請求項26に記載の装置。
28. 前記画像分析システム(270、272)が前記半田ボンド(1360)を囲む境界に沿って一連の差分画像強度グレイ値を計算して前記差分グレイ値を所定のしきいグレイ値と比較する、請求項27に記載の装置。
29. 前記計算された差分画像強度グレイ値が前記しき

い値を越す前記境界に沿った位置を前記画像分析システム(270、272)が前記半田接続欠陥(1370)として識別される、請求項28に記載の装置。

30. 前記特定フィーチャの1つが前記接続部(214)に存在する半田の量を含む、請求項26に記載の装置。

31. 前記画像分析システム(270、272)が、1つの前記半田接続部(214)の3つの異なる部分(1501、1502、1503)に所定する前記断面画像の3つの領域を規定し、前記3つの領域のそれぞれに対して平均画像強度(I_r 、 I_g 、 I_b)を計算し、前記平均画像強度を第1セットおよび第2セットの所定のしきい値($Th_{r, r}$ 、 $Th_{g, g}$ 、 $Th_{b, b}$; $Th_{r, r}$ 、 $Th_{g, g}$ 、 $Th_{b, b}$)と比較する、請求項30に記載の装置。

32. 前記平均強度が前記第1セットおよび第2セット両方のしきい値($Th_{r, r}$ 、 $Th_{g, g}$ 、 $Th_{b, b}$; $Th_{r, r}$ 、 $Th_{g, g}$ 、 $Th_{b, b}$)よりも小さい場所を前記画像分析システム(270、272)が欠陥半田欠陥(1360f)として識別する、請求項31に記載の装置。

33. 前記平均強度が前記第1セットのしきい値よりも小さくかつ前記第2のセットのしきい値よりも大きい場所を前記画像分析システム(270、272)が、不十分な半田欠陥(1360c)として識別する、請求項31に記載

の装置。

34. 対象物のX線ラミノグラフを作成するための装置において、

ターゲット(287)に照射する電子ビーム(285)によってX線(282)が作成されるX線ソース(20)と、

前記電子ビーム(285)を前記ターゲット(287)の異なる位置に屈折して位置を動かすための電気ステアリング装置(281)とを特徴とし、前記X線(282)が前記X線ソース(20)によって発生され、さらに

前記X線ソース(20)によって発生されたX線(282)を受取るために位置づけられたX線ディテクタ(30)と、

前記X線ディテクタ(30)の位置を動かすための手段(256)と、

X線ソース(20)の動きをX線ディテクタ(30)の動きと同期化させるためのフィードバックシステム(260、263、265)とを、特徴とする装置。

35. テスト対象物(730)が前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)との間に位置づけられたときに前記X線ディテクタ(30)に画像を形成する前記テスト対象物(730)をさらに含む、請求項34に記載の装置。

36. 前記フィードバックシステム(260、263、

265)が前記ディテクタ(30)の動きに即答して前記電気ステアリング装置(281)を駆動して、前記テスト対象物(730)の前記画像が、前記X線ディテクタ(30)と前記X線ソース(20)が前記テスト対象物(730)と相対して動くにつれ前記X線ディテクタ(30)の所定位置に位置づけられる、請求項35に記載の装置。

37. 前記フィードバックシステム(260、263、265)が前記X線ソース(20)を第1の回転軸(40、404)に対して第1の内形経路を巡らせて第1の面(62)を形成し、

前記X線ディテクタ(30)を動かすための前記手段が、前記X線ディテクタ(30)を第2の回転軸(40、404)に対して第2の内形経路を巡らせて第2の面(64)を形成する、請求項34に記載の装置。

38. 前記第1の面(62)が前記第2の面(64)と實質的に平行である、請求項37に記載の装置。

39. 前記第1の軸(40、404)が前記第2の軸(40、404)と實質的に同軸である、請求項37に記載の装置。

40. 前記第1の内形経路と前記第2の内形経路が同じ回転軸(40、404)を實質的に寄しかつ前記第1および第2の面(62、64)が實質的に平行である、請求項37に記載の装置。

41. 印刷回路基板(210)に装着されている電気部

品(212)の間の電気的接続部(214)を設置する方法において、

前記電気接続部(214)の断面画像を発生させるステップと、

前記断面画像を分析するステップとを、特徴とする方法。

42. 前記断面画像を製作するステップが、X線ソース(20)でX線(282)を発生させるステップと、X線ディテクタ(30)でX線(282)を検出するステップをさらに含む、請求項41に記載の方法。

43. 前記断面画像を発生させるステップが、前記電気接続部(214)のX線ラミノグラフを作成するステップをさらに含む、請求項42に記載の方法。

44. 前記X線ラミノグラフを発生させるステップが、前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)を前記電気接続部(214)に関して動かすステップをさらに含む、請求項43に記載の方法。

45. 前記X線ラミノグラフを発生させるステップがさらに、

前記X線ソース(20)を電気的手段によって動かすステップと、

前記X線ディテクタ(30)を電子機械的手段によって動かすステップと、

前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)の動きを電気フィールドバックシステム(260、263、

前記3つの領域(1501、1502、1503)のそれぞれに対して平均強度値(I_p 、 I_q 、 I_r)を計算するステップと、

前記平均強度値を第1セットおよび第2セットの所定しきい値($Th_{1,p}$ 、 $Th_{1,q}$ 、 $Th_{1,r}$ 、 $Th_{2,p}$ 、 $Th_{2,q}$ 、 $Th_{2,r}$)と比較するステップとを含む、請求項41に記載の方法。

51. 前記断面画像を分析するステップがさらに、前記平均強度値(I_p 、 I_q 、 I_r)が前記第1セットおよび第2セットしきい値の両方($Th_{1,p}$ 、 $Th_{1,q}$ 、 $Th_{1,r}$ 、 $Th_{2,p}$ 、 $Th_{2,q}$ 、 $Th_{2,r}$)より小さい場所を識別して、前記位置を欠陥半田欠陥として示すステップをさらに含む、請求項50に記載の方法。

52. 前記断面画像を分析するステップが、前記平均強度値(I_p 、 I_q 、 I_r)が前記第1セットのしきい値($Th_{1,p}$ 、 $Th_{1,q}$ 、 $Th_{1,r}$)よりも小さくかつ前記第2セットのしきい値($Th_{2,p}$ 、 $Th_{2,q}$ 、 $Th_{2,r}$)よりも大きい場所を識別して、前記位置を不十分な半田欠陥として示すステップをさらに含む、請求項50に記載の方法。

53. 対象物のX線ラミノグラフを作成する方法において、

X線(282)がターゲット(287)と対する電子ビーム(285)によって発生するX線(282)のソー

ス(20)を設けるステップと、

前記電子ビーム(285)を前記ターゲット(287)の異なる部分に向け、前記X線ソース(20)によって発生する前記X線(282)の位置を動かすステップと、

前記X線ソース(20)によって発生したX線(282)をX線ディテクタ(30)によって検出するステップと、

前記X線ディテクタ(30)の位置を動かすステップと、

前記X線(282)の発生時の前記位置の移動をフィールドバックシステムで前記X線ディテクタ(30)の動きと同期させるステップとを特徴とする、方法。

54. テスト対象物(730)が前記X線ディテクタ(30)に面を形成するように前記テスト対象物(730)を前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)との間に位置づけるステップをさらに含む、請求項53に記載の方法。

55. 前記ディテクタ(30)の動きに反応して前記フィールドバックシステムを駆動させ、前記テスト対象物(730)の前記面が、前記X線ディテクタ(30)とX線発生時の前記位置が前記テスト対象物(730)と相対して動くにつれ、前記X線ディテクタ(30)の所定の位置に位置づけられるステップをさらに含む、請求項54に記載の方法。

56. 回路基板(210)の電気部品(212)の半田接続部(214)に半田接続欠陥を検出する方法において、

前記電気接続部(214)の3つの異なる部分(1501、1502、1503)と対応する前記断面画像の3つの領域を規定するステップと、

ス(20)を設けるステップと、

前記電子ビーム(285)を前記ターゲット(287)の異なる部分に向け、前記X線ソース(20)によって発生する前記X線(282)の位置を動かすステップと、

前記X線ソース(20)によって発生したX線(282)をX線ディテクタ(30)によって検出するステップと、

前記X線ディテクタ(30)の位置を動かすステップと、

前記X線(282)の発生時の前記位置の移動をフィールドバックシステムで前記X線ディテクタ(30)の動きと同期させるステップとを特徴とする、方法。

54. テスト対象物(730)が前記X線ディテクタ(30)に面を形成するように前記テスト対象物(730)を前記X線ソース(20)と前記X線ディテクタ(30)との間に位置づけるステップをさらに含む、請求項53に記載の方法。

55. 前記ディテクタ(30)の動きに反応して前記フィールドバックシステムを駆動させ、前記テスト対象物(730)の前記面が、前記X線ディテクタ(30)とX線発生時の前記位置が前記テスト対象物(730)と相対して動くにつれ、前記X線ディテクタ(30)の所定の位置に位置づけられるステップをさらに含む、請求項54に記載の方法。

56. 回路基板(210)の電気部品(212)の半田接続部(214)に半田接続欠陥を検出する方法において、

前記半田鉄線部(214)の断面画像(1360)を作成するステップと、

前記半田鉄線部(214)の前記断面画像(1360)を縫む境界に沿って一連の差分画像強度グレイ値($\Delta G_1, \dots, \Delta G_{10}$)を計算するステップと、

前記差分グレイ値($\Delta G_1, \dots, \Delta G_{10}$)を所定のしきいグレイ値(ΔG_{10})と比較するステップと、

前記計算された差分画像強度グレイ値($\Delta G_1, \dots, \Delta G_{10}$)が前記しきい値(ΔG_{10})を超える前記境界に沿った場所を識別するステップとを特徴とする、方法。

57. 図8aの半田鉄線部(214)の電気部品(212)の間の半田鉄線部の半田欠陥を検出する方法において、

前記半田鉄線部(214)の断面画像を作成するステップと、

前記半田鉄線部(214)に対応する前記断面画像の領域(1501, 1502, 1503)を規定するステップと、

前記領域に対して平均画像強度(I_x, I_y, I_z)を計算するステップと、

前記平均画像強度(I_x, I_y, I_z)を第1セットおよび第2セットの所定しきい値($Th_{1,x}, Th_{1,y}, Th_{1,z}; Th_{2,x}, Th_{2,y}, Th_{2,z}$)と比較するステップとを含む、方法。

58. さらに、

記録の方法。

60. 前記比較のステップが、前記第1の平均画像強度(I_x)に対応する第3の平均厚さ(T_x)、前記第2の平均画像強度(I_y)に対応する第2の平均厚さ(T_y)、および前記第3の平均画像強度(I_z)に対応する第3の平均厚さ(T_z)を計算するステップをさらに含む、請求項59に記載の方法。

61. 前記第1の平均厚さ(T_x)が前記第1のしきい値($Th_{1,x}$)より小さく、前記第2の平均厚さ(T_y)が前記第2のしきい値($Th_{2,y}$)より小さく、及び前記第3の平均厚さ(T_z)が前記第3のしきい値($Th_{3,z}$)より小さい場所を欠陥半田欠陥(1360f)として識別するステップをさらに含む、請求項60に記載の方法。

62. 前記半田鉄線部(214)の前記第1の部分(1501)に対応する第4の所定しきい値($Th_{4,x}$)、前記半田鉄線部(214)の前記第2の部分(1502)に対応する第5の所定しきい値($Th_{5,y}$)、および前記半田鉄線部(214)の前記第3の部分(1503)に対応する第6の所定しきい値($Th_{6,z}$)を規定するステップと、

前記第1の平均画像強度(I_x)を前記第1および第4の所定しきい値($Th_{1,x}, Th_{4,x}$)と、前記第2の平均画像強度(I_y)を前記第2および第5の所定しきい値($Th_{2,y}, Th_{5,y}$)と、前記第3の平均画像強度(I_z)を前記第3および第6の所定しきい値($Th_{3,z}, Th_{6,z}$)と比較するステップとを含む、請求項59に記載の方法。

前記断面画像の領域内に第1の部(1601)、第2の部(1602)、および第3の部(1603)を規定するステップを含む、前記第1の部が前記半田鉄線部(214)の第1の部分(1501)に対応し、前記第2の部が前記半田鉄線部(214)の第2の部分(1502)に対応し、そして前記第3の部(1603)が前記半田鉄線部(214)の第3の部分(1503)に対応し、さらに

前記第1の部(1601)に対応する第1の平均画像強度(I_x)と、前記第2の部(1602)に対応する第2の平均画像強度(I_y)と、前記第3の部(1603)に対応する第3の平均画像強度(I_z)とを計算するステップを含む、請求項57に記載の方法。

59. 前記半田鉄線部(214)の第1の部分(1501)に対応する第1の所定しきい値($Th_{1,x}$)、前記半田鉄線部(214)の前記第2の部分(1502)に対応する第2の所定しきい値($Th_{2,y}$)、および前記半田鉄線部(214)の前記第3の部分(1503)に対応する第3の所定しきい値($Th_{3,z}$)を規定するステップと、

前記第1の平均画像強度(I_x)を前記第1の所定しきい値($Th_{1,x}$)と、前記第2の平均画像強度(I_y)を前記第2の所定しきい値($Th_{2,y}$)と、前記第3の平均画像強度(I_z)を前記第3の所定しきい値($Th_{3,z}$)とで比較するステップとをさらに含む、請求項58に記載の方法。

63. 前記半田鉄線部(214)の前記第1の部分(1501)に対応する第4の所定しきい値($Th_{4,x}$)、前記半田鉄線部(214)の前記第2の部分(1502)に対応する第5の所定しきい値($Th_{5,y}$)、および前記半田鉄線部(214)の前記第3の部分(1503)に対応する第6の所定しきい値($Th_{6,z}$)を規定するステップと、

前記第1の平均厚さ(T_x)が前記第4のしきい値($Th_{4,x}$)より小さくかつ前記第1のしきい値($Th_{1,x}$)より大きく、前記第2の平均厚さ(T_y)が前記第5のしきい値($Th_{5,y}$)より小さくかつ第2のしきい値($Th_{2,y}$)より大きく、前記第3の平均厚さ(T_z)が前記第6のしきい値($Th_{6,z}$)より小さくかつ前記第3のしきい値($Th_{3,z}$)より大きく場所を不十分な半田欠陥(1360c)として識別するステップとをさらに含む、請求項60に記載の方法。

特 許
エレクトロニクス検査のための
自動ラミノグラフィシステム

発明の分野

この発明は一般に断層撮影法の技術に関し、特に製造された電子部品の高倍、高解像度検査のためのコンピュータ化されたラミノグラフィシステムに関する。

発明の要旨

電子素子の半田付け部および屈立に対する高倍で正確な品質管理検査はエレクトロニクスの製造産業において主要課題になっている。部品及び半田接続部の減少した寸法、回路基板の上の部品の増大した実装密度、および半田接続部を視覚から隠された電子パッケージの下に置く表面装着技術(SMT)の到来は、電子素子および素子間の電気的接続部の迅速で正確な検査が製造環境において行なうのを非常に難しくした。

電子素子および接続部の多くの互存の検査システムは、素子および接続部の内部構造を露わす特徴を示す画像を形成するために透過放射を利用している。これらのシステムは透過放射がX線を含む従来のラジオグラフィック技術をしばしば従っている。たとえば胸、腕、脚、背骨、など人体の種々の部分の医学X線写真はおそらく従来のラジオグラフィック画像の最もなじみやすい例であろう。形成された画像または写真は、検査される対象物がX線のビームによって照らされた際にできるX線陰影を露わす。X線陰影

はフィルムなどのようなX線感光材料または他の適切な手段によって検出および記録される。

X線陰影またはラジオグラフの外見は対象物の内部的構造特性によって決定されるだけでなく、入射するX線が対象物に当たる方向によっても決まる。したがって、X線陰影画像の完全な解釈および分析は、人間によって視覚的に行なわれるまたはコンピュータによって数値的に行なわれるどちらにしろ、対象物の特性およびX線ビームに対する配向に関して特定の仮定が必要である。たとえば、対象物の形、内部構造など、また対象物に対する入射X線の方角に関して特定の仮定を定めることはしばしば必要である。これらの仮定に基づいて、X線画像の特徴は分析されて画像フィーチャを作成した対象物の対応する構造的特徴、たとえば半田付け接続部の欠陥の位置、寸法、形などが決定される。これらの仮定によってしばしば曖昧さが生じ、画像の解釈およびX線陰影画像の分析に基づいた決定の信頼性を低下させる。従来のラジオグラフの分析においてこのような仮定の使用から生ずる主要課題の一つは、対象物内の構造的特徴の小さな痕跡、例えば半田接続部内の欠陥の形、密度、および大きさは、しばしば半田接続部自身の、さらに隣接する半田接続部、電子素子、回路基板およびその他の物体の重なった陰影(overshadowing)のかたまりによってしばしばマスクされる。重なった陰影の消および隣接する物体はそれぞれの半田接合に対

して普通は異なるので、種々の半田接合内の半田欠陥の形、大きさおよび位置を正確に判断するための十分な仮定を立てるのは非常に複雑でありしばしばほとんど不可能である。

これらの欠点を補償する試みとして、いくつかのシステムは対象物を複数の角度から見る画像を結合している。この付加的観測はX線陰影投影画像にある曖昧さを部分的に解決させることができる。しかし、複数の観測角度の使用は複雑な機械的取扱いシステムを必要とし、しばしば多くの独立した非直交の運動軸を要求する。この機械的複雑さのレベルは増大した経費、増大した大きさおよび重さ、より長い検査時間、低下したスループット、機械的揺動性による損なわれる位置決め精度、運動軸の非直交性によるキャリブレーションおよびコンピュータ制御の複雑性をもたらす。

上記で説明した従来のラジオグラフ技術に関連する多くの問題は、検査する対象物の断層画像を作成ことによって軽減することができる。ラミノグラフやコンピュータ化断層撮影法(CT)のような断層撮影技術はしばしば医学の応用において使われて断層画像または人体部分画像を作り出す。医学の応用では、これらの技術は広く成功を収めているが、その理由は主として1センチは2mm(0.04から0.08インチ)の厚板の比較的低い解像度で満足できるからでありかつ速度およびスループット要件が対応する産業要求ほど厳しくないからである。しかし、検査の精

度および/または精度における欠点が原因で産業の応用では商業的成功を取ったラミノグラフ検査システムはない。これは既存のラミノグラフィシステムが産業的検査問題を解決するのに必要な高度な位置づけ精度および画像解像度を達成しつつ生産環境において実用的であるために必要な速度での操作が不可能であったからである。

エレクトロニクス検査の場合、そしてより特定の半田接合のような電気的接続部の検査のために、数 μ mの厚板の画像解像度、たとえば20 μ m(0.0008インチ)が必要である。さらに、産業的半田接合検査システムは産業的生産ラインで使用するのに実用的であるためには毎秒多数の画像を発生させなければならない。こうして、ラミノグラフィシステムはエレクトロニクス検査に必要なスピードおよび精度要件を達成することができなかった。

断層画像を製作するためのラミノグラフィシステムはいくつかの形をとっている。1つのシステムが「ラミノグラフィ装置」"LAMINOGRAPHIC INSTRUMENT"と記された米国特許第3,928,769号で説明されている。そこで説明されている放射ソースおよびディテクタは機械的に結合されてソースおよびディテクタの必要な幾何学および同期動作を達成する。この形式のシステムは放射ソース、検査する対象物およびディテクタを含む高い質量装置のいくつかの組合わせである比較的高い質量を動かさなければならないという欠点がある。X線管や

カメラ装置が働くとともにこれは倍に難しくなる。このシステムの速度は、これらの比較的大きな質量を迅速にまた正確に動かすのが非常に難しいという事実によって難しく制限されている。このシステムはまた多くの複雑な動く部分の時間的遅延に伴う不正歪および劣化によって、得られる解像度に制限がある。

「コンピュータ化断層撮影システム」"COMPUTERIZED TOMOGRAPHY SYSTEM"と題された米国特許第4,211,927号で説明されている別のシステムでは、放射ソースおよびディテクタの機械的動作はタイミングが同じコンピュータによって制御されている別のスタップモータによって電子的に制御されている。各部品は動作はそれぞれの所定の中央キャリブレーション位置を基準にする。こうして、ソースおよびディテクタが同じコンピュータによって駆動されているが、ソースの位置をディテクタの位置と相対させる直接のリンクはない。このシステムの性能は質量をもった放射ソースおよびディテクタが駆動されるスピード、および可動部分の精度、同期、安定性によっても制限されている。

「人体断面画像化するための装置」"DEVICE FOR OR IMAGING LAYERS OF A BODY"と題された米国特許第4,316,252号では、それぞれが異なる位置で間隔をあけられて固定されている複数の放射ソースが単一の駆動ソースの代わりに使われて

いる。駆動ディテクタの速度は放射ソースの動作に伴って同期して電子的に動かされる。このアプローチは放射ソースおよびディテクタを機械的に動かす固有の問題をなくすが、複数の放射ソースを必要とするコストという欠点を負う。特製の回路品質も、放射ソース位置の可動性によってピンポイント精度の望ましいブレが連続的ではなくやや不連続であるので低下する。したがって不要なフィーチャが複数の個のはっきりしたアーティファクトとして画像に現れる。

「人体断面画像のスクリーン画像を作成するための装置」"DEVICE FOR PRODUCING SCREENING IMAGES OF BODY SECTIONS"と題された米国特許第2,667,585号は停止したX線管を示し、放射ソースの動きはX線管の電子ビームの許容偏向によって与えられ、電子ビームが平坦なターゲットアノードの表面の上の経路をトレースさせる。X線管の反対側には電子光学を含むディテクタ画像管があり、結晶の電子画像を停止ディテクタに偏向させる。X線管の偏向回路および画像管の偏向回路はX線ソースの動きおよびディテクタの結晶の偏向の偏向を同時に駆動させるために同じ電圧源から駆動されている。このようにこのシステムは放射ソースおよびディテクタを機械的に動かすのに関連した欠点の多くを避ける。しかし、このシステムはビームがターゲット表面の上を誘引しながら電子ビームの焦点およびエネルギーを一貫して維持する設備はない。これはX

線スポットを大きさおよび強度両方において変化させ、デバイスで得ることができる解像度を著しく制限する。電子画像を偏向するための電子光学の使用もこのデバイスで得られる横断解像度を制限する。画像が広い角度で偏向されるとこの問題は倍に難しくなる。同時に、X線スポットを位置づける精度もビームが低い角度で偏向されると失われる。これらの問題は実質的にこの技術で得られる解像度を制限する。さらに、この技術は比較的小さい西角の範囲の操作のみ実質的であり、不要なフィーチャの望ましい感度放射線学的ブレ強度を制限して結果として焦点の面に対して正確な方向の解像度を制限する。

上記で説明したラミノグラフィシステムのすべては人体切断面ラジオグラフィを行なうことに向けられており、そのため、迅速に連続した高解像度画像を作成するためには設計されていない。さらに、このようなシステムは連続したデュエティサイクルあるいはエレクトロニクスの製造と一致する規模で操作する必要はない。

現在使われているエレクトロニック検査システムに見られる多くの不都合は高解像度、高速ラミノグラフィシステムによって克服することができる。このようなシステムは特に電子アセンブリでの半田接合のような電氣的接続部の検査に適する。半田接合の高解像度ラミノグラフィは検査の品質を示す半田接合におけるフィーチャをはっきりと明らかにすることができる。残念ながら、ラミノグラフィ技術を産業

検査環境で使う試みは多く行なわれてきたが、今までのシステムは低い画像解像度または禁止的に長い検査時間またはこの両方が原因で最善の性能に達していない。解像度を向上させるために使われた今までの技術は常に長い検査時間に伴っていた。同時に、検査時間を減らすために採用された今までの技術は画像解像度を一歩に犠牲にしてきた。したがって医療環境においてエレクトロニクスを検査することができる高速で、高解像度の装置とラミノグラフィシステムの必要性がある。

発明の要約

本発明は印刷回路基板上に設置されている電子部品間の電気的接続部の検査のための装置および方法に向けられている。この発明は断層部の断面画像を作成し、それがコンピュータ駆動画像分析システムによって分析される。断面画像は自動的に分析され接続部の欠陥を識別してその位置を渡し、接続部の工程特性を決定する。欠陥の位置および種類または工程特性を示す画像分析の報告が用意されてユーザに呈示される。

より特定の、本発明は印刷ワイヤリング基板アセンブリおよびその他の電子部品とアセンブリの上の半田接合のための印刷ラミノグラフィ検査システムを提供する。中央データ処理および制御ユニットが検査する部品を位置づけ、ラミノグラフィ画像の形成を制御し、画像データを分析し、画像データの分析に基づいて設置している部品の特性およ

び受容室に関して決定を下し、検査工程の断層をユーザに伝える。

本発明の検査システムは、代替システムおよび方法に対していくつかの重大な利点を有する。したがって、本発明の性能が、これらの代替システムおよび方法に対して優れているのは、一歩は、画像の高解像度、画像の断面フォーマット、画像の自動的過渡入手および分析によるためである。

この発明は有利にX線ラミノグラフィの技術を利用して高解像度断面画像を得る。この発明は不必要な機械的運動に頼ることなくアーティファクトのラミノグラフィのブレを最適化するために放射ソースおよびディテクタの円形運動を用いる。放射ソースの正確な円形回転は、静止X線管内の電子ビームがX線管のアノードに円形の経路を描かせることによって保証される。放射ソースの回転に関連する移動部分をなくす。ラミノグラフィ画像を発生させるために必要な唯一の機械的動作はディテクタの回転である。キャリブレートされたフィードバックシステムは、ラミノグラフィ画像の形成中の回転X線ソースおよびディテクタの整列および同期化に影響するシステムの機械的部品における不正誤差を補償することによってシステムの精度をさらに向上させる。フィードバックシステムはディテクタの位置をX線ソースの位置と統合させて画像の取得中のソースおよびディテクタの連続した正確な整列を確実にする。

せることによって、回転ソーススポットおよび蛍光スクリーンの正確な整列を維持する。このフィードバック技術は、精密位置エンコーダによって決定される回転部の実際の位置に基づいてX線ソースの偏向回路に発行されるべき精度信号を指示する座標のルックアップテーブルをメモリにストアすることによって、先行技術のラミノグラフィシステムよりも高い精度を可能とする。フィードバックシステムは位置エンコーダから回転部の位置を指示する入力データを受取り、ルックアップテーブルから対応する座標を検索し、それに応じてX線管の偏向回路を駆動させる。ソーススポットおよび回転部の整列は適当な座標のルックアップテーブルを発生させる手段で自動的にキャリブレートされる。こうしてラミノグラフィシステムの精度は、回転部の回転の速度、回転部の整列、ターゲットアノードの形および検査ジオメトリを決定する他の精密なパラメータの小さな不精度及び変化にかかわらず維持されている。

印刷ワイヤ基板または検査する他の対象物はコンピュータ制御によって自動的に操作することができ、機械的取扱システムの上に支持され、対象物の望ましい部分を線測下に順々に持ってくるような速度で対象物を動かす。

X線ラミノグラフィシステムによって得られた半田接合の高解像度断面画像は自動的に分析される。強力なコンピュータシステムが、半田接合の断面画像の取得を効率的にまた自動的に制御するために、画像の特性を開るために、そ

本発明の高解像度ラミノグラフィ検査システムは、高い検査速度と検査の精度によって特徴づけられ、半田接合部、電子部品およびその他のアセンブリの高解像度断面画像を生成する。回転するX線ソースおよびディテクタは回転するX線シャドウグラフ画像を作成してX線画像を可視光画像に変換する蛍光スクリーンディテクタの上に投影する。X線ソースの回転は電子的に達成され、したがって不正誤差で機械的機械的誤差をなくす。蛍光スクリーンは回転X線ソースと反対に位置づけられている回転盤で支えられている。スクリーンは回転X線ソースの軌跡によって規定される平面に平行な平面で回転し、X線ソースと共通の回転軸に対して回転する。回転盤の上にはさらに、蛍光スクリーンの両端を固定カメラによって観測させる2つの線を含む光學検出アセンブリが設置されている。こうして断面画像を形成するために必要な唯一の機械的動作は回転盤の回転であり、これは一定の速度で回転でき、システムの機械的負担をかなり簡単にする。

画像解像度は検査する対象物の幾何学的拡大を与えるように調整されている微小焦点X線ソースを使うことによってさらに向上される。

ソースおよびディテクタの正確な整列は高解像度画像の作成に貢献し、フィードバックシステムによって維持されている。フィードバックシステムはX線管内の電子ビームの偏向回路を回転している回転部の位置と同期して駆動さ

る特性を半田欠陥の特定の種類と関連づけてそれに応じて品目の品質の受容性に応じて決定を下すために、平行処理を用いる。画像分析の結果は出力フォーマットのいかなる形式においてユーザに伝えられる。

本発明の1つの局面は、電気的部品および部品が検査されている回路基板との間の半田接合部の品質を検査および分析するための回路基板検査装置である。回路基板検査装置は半田接合部のX線ラミノグラフィ断面画像を作成する。画像は自動的に取得、デジタル化および分析される。回路基板検査装置はX線ソースを含み、電子ビームが射撃するターゲットの位置からX線が放射される。電気ステアリング装置が電子ビームをターゲットの異なる位置に偏向させる。ステアリング装置は電子ビームを軸に対して回転させてターゲット上の実質的に円形の経路をトレースさせることができ、X線ソースを第1の円形パターンで移動させる。第1の円形パターンは第1の面を規定する。

回路基板検査装置は半田接合部および回路基板を透過したX線ソースによって生じたX線を受けるために位置づけられるX線ディテクタを含み、X線ディテクタは透過X線によって形成されたX線画像に対応する光學画像を作成する蛍光スクリーンを含む。X線ディテクタはさらに、軸に対して回転し第2の円形パターンを規定する実質的に円形の経路に沿って移動するように蛍光スクリーンを移動させるための手段を含む。第2の円形パターンは第1の面

に対して逐時的に実行である第2の面を規定する。X線ディテクタはさらに回転変換スクリーンからの光學画像を停止光學画像面に伝達する光學非回転装置を含む。さらに光學画像を伝達するために停止光學画像面に位置づけられているカメラを含む。カメラは光學画像に対応する電子出力を有する。

回転変換装置は、X線断層ラミノグラフィ画像の光學画像を停止面裏面で形成されるように、X線ソースおよび変換スクリーンの円形運動を同期化させるための制御システムを含む。制御システムは第2の円形パターンに沿って変換スクリーンの位置をモニタし、スクリーン位置に対応する座標を伝えるセンサを含む。制御システムはさらにセンサから座標を受取り対応する信号をステアリング装置に伝えるロックアップテーブルを含む。X線ソースの運動を変換スクリーンの運動と同期させる。

回転変換装置は半田接続部の断面画像を分析するためのデジタル画像処理システムをさらに含む。画像処理システムは、カメラからの電子画像信号を受取り半田接続部のX線断面画像と対応する画像のデジタル変換を形成するための画像デジタイザを含む。画像処理システムは、デジタル画像の所定領域をアクセスしかつ半田欠陥の特定の種類を示す特定のフィーチャの所定のいずれかの命令に従って画像を分析するためにプログラムされたプログラム可能制御計算セクションを含む。

板を動かすための位置決めテーブルを含む。

本発明の他の局面は、印刷回路基板の上に装着されている電気部品間の電気的接続部を検査するための装置である。装置は電気的接続部の断面画像を作成するための画像システムと、断面画像を分析するための画像分析システムとを含む。好ましくは、画像システムはX線ソースおよびX線ディテクタを含む。さらに好ましくは、画像システムは、電気的接続部に関してX線ソースおよびX線ディテクタの運動によって作成される電気接続部のX線ラミノグラフィを作成する。X線ソースの動きは電気的手段によって発生され、X線ディテクタの動きは電子機械的手段によって発生される。X線ソースおよびX線ディテクタの動きは電気的フィードバックシステムによって同期化および制御される。好ましくは、X線ソースおよびX線ディテクタの動きは實質的に円形でありソース面およびディテクタ面を規定する。特定の好ましい実施例では、ソース面およびディテクタ面は實質的に平行である。

この発明のこの局面の代替の実施例では、画像システムはコンピュータ化された断面検影システムを含む。

この発明のこの局面は、電気的部品が電気接続パッドを含む、回路基板が電気接続パッドを含むところで特に有用である。電気接続部は電気的部品コネクタパッドと回路基板コネクタパッドとの間に導電性のボンドを含む。たとえば、電気接続部は電気的部品接続パッドおよび回路基板

この発明の好ましい実施例では、X線ソースは回転可能電子ビームX線管を含む。さらに好ましくは、電気ステアリング装置はコイルを含み、磁界を生じさせて電子ビームと相互作用してそれを偏向させる。特定の好ましい実施例では、変換スクリーンはタンダステン酸カドミウムレンチレーション材料を含む。

好ましくは、断面画像は第1および第2の面と平行で回転軸と交差する半田接続部内の面と対応する。半田接続部の断面はX線ソースとX線ディテクタの間に位置づけられて画像面から第1の面への距離が画像面から第2の面への距離よりも小さい。

好ましくは、変換スクリーンを動かすための手段は、特にに対して回転しかつ上に変換スクリーンが装着されている回転盤をさらに含む。光學非回転装置は回転盤に装着されている第1および第2の鏡を含む。鏡は回転盤に関してまた第1および第2面に沿って約45°の角度で配向されている。第1の鏡は変換スクリーンから光學画像を受取り第2の鏡に映す。第2の鏡は画像をさらに停止面裏面に映す。さらに好ましくは、第2の鏡は回転軸と交差する。

特定の好ましい実施例では、カメラは低い光レベルビデオカメラを含む。低い光レベルカメラはシリコン強化ターゲット増光増倍管を含む。さらに好ましくは、デジタル画像処理システムは複数の平行画像処理装置を含む。

この発明のこの局面に従って、装置は好ましくは回路基

板パッドとの間に半田ボンドを含むこともできる。

この発明のこの局面の好ましい実施例では、画像分析システムは断面画像において特定のフィーチャを検す。画像分析システムは画像の所定の位置で断面画像に対して所定のテストを行なうことによって特定のフィーチャを識別する。たとえば、特定のフィーチャの1つは半田接続欠陥を含むかもしれない。画像分析システムは半田ボンドを囲む境界に沿って一定の差分画像強度グレイ値を計算し、差分グレイ値を所定のしきいグレイ値と比較する。半田接続欠陥は画像分析システムによって、差分画像強度グレイ値がしきい値を超える境界に沿った箇所において識別される。特定フィーチャの他の例は接続部に存在する半田の量である。この例では、画像分析システムは半田接続部の3つの異なる部分に対応する断面画像の3つの領域を規定し、3つの領域の各々に対して平均画像強度を計算し、平均画像強度を第1セットおよび第2セットの所定のしきい値と比較する。画像分析システムは、平均強度が第1セットおよび第2セットの両しきい値より小さい箇所を欠陥半田欠陥として識別する。代わりに、画像分析システムは平均強度が第1セットのしきい値より小さくかつ第2セットのしきい値よりも大きい箇所を不十分な半田の欠陥として識別する。

本発明の別の局面は、対象物のX線ラミノグラフィを作成するための装置である。装置はX線ソースを含み、そのX線はターゲットに射突する電子ビームによって作られ、ま

らに電気スタアリング装置を含み、電子ビームをターゲットの真なる部分に偏向してX線ソースによって作られるX線の位置を移動させる。装置はX線ソースによって作成されたX線を受取るために位置づけられたX線ディテクタをさらに含む。またX線ディテクタの位置を移動させるための手段も含む。装置はさらに、X線ソースの動きをX線ディテクタの動きと同期化させるためのフィードバックシステムをも含む。好ましくは、装置はテスト対象物を含む。テスト対象物がX線ソースとX線ディテクタの間に位置づけられたときにX線ディテクタに画像を形成する。フィードバックシステムは、X線ディテクタおよびX線ソースがテスト対象物に相対して動くにつれテスト対象物の画像がX線ディテクタの上の所定の位置に位置づけられるようにディテクタの動きに応じて、電気的スタアリング装置を駆動させる。

この発明のこの局面の好ましい実施例において、フィードバックシステムはX線ソースが第1の面を形成する第1の回転軸に対して第1の円形経路を進み、そしてX線ディテクタを動かす手段はX線ディテクタが第2の面を形成する第2の回転軸に対して第2の円形経路を進ませる。好ましくは、第1の面は第2の面に対して実質的に平行である。さらに好ましくは、第1の軸は第2の軸に対して実質的に同一広がりであり、第1の円形経路および第2の円形経路は実質的に同じ回転軸を有する。

る境界に合った箇所を識別し、半田接続欠陥の位置を示すステップを含む。

代替として、断面画像を分析するステップは、電気接続部の3つの異なる部分との対応する断面画像の3つの領域を規定するステップと、3つの領域のそれぞれの平均画像強度を計算するステップと、平均画像強度を第1セットおよび第2のセットの所定しきい値と比較するステップとを含む。断面画像を分析するステップは、平均強度が第1セットおよび第2セットの所定しきい値よりも少ない箇所を識別し、その位置が欠陥した半田欠陥として示すステップとを含む。代替として、断面画像を分析するステップは、平均強度が第1セットのしきい値よりも小さくかつ第2セットのしきい値よりも大きい場所を識別しその位置を不十分な半田欠陥として示すステップとを含む。

本発明のさらに他の局面は、対象物のX線ラミノグラフを作成する方法であり、X線がターゲットに射撃する電子ビームによって作られるX線ソースを放つステップと、電子ビームをターゲットの異なる位置に向け、X線がX線ソースによって作成される位置を動かすステップとを含む。この方法はさらに、X線ディテクタでX線ソースによって作られたX線を検出し、X線ディテクタの位置を動かし、フィードバックシステムでX線の発生の位置の動きをX線ディテクタの動きと同期化させるステップとをさらに含む。

本発明のさらに他の局面は、印刷回路基板の上に設置された電気部品間の電気接続部を検査する方法である。この方法は電気接続部の断面画像を形成させるステップと断面画像を分析するステップを含む。好ましくは、断面画像を形成させるステップは、X線ソースでX線を生成するステップと、X線ディテクタでX線を検出するステップと、電気的接続部のX線ラミノグラフを作成するステップとを含む。X線ラミノグラフを作成するステップは、X線ソースおよびX線ディテクタを電気接続部に隣して動かすステップをさらに含む。X線ラミノグラフを作成するステップは、さらに電気的手段によってX線ソースを動かすステップと、電子機械的手段によってX線ディテクタを動かすステップと、X線ソース及びX線ディテクタの動きを電気的フィードバックシステムによって同期させるステップとを含む。

この発明のこの局面に従った好ましい方法では、断面画像を分析するステップは、断面画像における特徴フィーチャを推すステップと、特定フィーチャを識別するために画像の所定位置で断面画像に対して所定のテストを行なうステップをさらに含む。

断面画像を分析するステップは有利的に、1つの電気的接続部を囲む境界に合った一連の差分画像強度グレイ値を計算するステップと、差分グレイ値を所定のしきいグレイ値と比較するステップとを含む。この方法はさらに好ましくは、計算された差分画像強度グレイ値がしきい値を超える

好ましくは、この発明のこの局面に従ったこの方法は、X線ソースとX線ディテクタの間にテスト対象物を位置づけテスト対象物がX線ディテクタの上に画像を形成するステップをさらに含む。この方法は、テスト対象物の画像がX線ディテクタとX線形成の位置がテスト対象物に相対して動くにつれX線ディテクタの上の所定の位置に位置づけられるようにディテクタの動きに応じてフィードバックシステムを駆動させるステップをさらに含む。

本発明の別の局面は、回路基板の上の電気的部品の間の半田接続部の半田接続欠陥を検出する方法である。この方法は、半田接続部の断面画像を作成するステップと、半田接続部の断面画像のまわりを囲む境界に合った一連の差分画像強度グレイ値を計算するステップと、差分グレイ値を所定のしきいグレイ値と比較するステップと、計算した差分画像強度グレイ値がしきい値を超えるボーダに合った箇所を識別するステップとを含む。

本発明のさらに他の局面は、回路基板の上の電気的部品の間の半田接続部に半田欠陥を検出するステップを含む。この方法は、半田接続部の断面画像を作成し、半田接続部に対応する断面画像の領域を規定し、その領域に対する平均画像強度を計算し、平均画像強度を第1セットおよび第2セットの所定しきい値と比較するステップを含む。好ましくは、この方法はさらに断面画像の領域内における第1の窓、第2の窓、および第3の窓を規定するステップを含む。

む。第1の意は半田接続部の第1の部分と対応し、第2の意は半田接続部の第2の部分と対応し、第3の意は半田接続部の第3の部分と対応する。この方法は好ましくは、第1の意に対応する第1の平均面強度、第2の意に対応する第2の平均面強度、および第3の意に対応する第3の平均面強度を計算するステップを含む。この方法は好ましくは、半田接続部の第1の部分と対応する第1の所定しきい値、半田接続部の第2の部分と対応する第2の所定しきい値、及び半田接続部の第3の部分と対応する第3の所定しきい値を規定するステップを含む。この方法は第1の平均面強度を第1の所定しきい値と、第2の平均面強度を第2の所定しきい値と、そして第3の平均面強度を第3の所定しきい値と比較するステップを含む。比較のステップはさらに、第1の平均面強度と対応する第1の平均厚さ、第2の平均面強度と対応する第2の平均厚さ、及び第3の平均面強度と対応する第3の平均厚さを計算するステップを含む。この方法は好ましくは、第1の平均厚さが第1のしきい値よりも小さく、第2の平均厚さが第2のしきい値よりも小さく、及び第3の平均厚さが第3のしきい値よりも小さい箇所を欠陥した半田欠陥として識別するステップを含む。

この方法は有利に、半田接続部の第1の部分と対応する第4の所定しきい値、半田接続部の第2の部分と対応する第5の所定しきい値、半田接続部の第3の部分と対応する

第6の所定しきい値を規定するステップと、第1の平均面強度を第1および第4の所定しきい値と、第2の平均面強度を第2および第5の所定しきい値と、そして第3の平均面強度を第3および第6の所定しきい値と比較するステップとを含む。

代替としてこの方法は、半田接続部の第1の部分と対応する第4の所定しきい値、半田接続部の第2の部分と対応する第5の所定しきい値、半田接続部の第3の部分と対応する第6の所定しきい値を規定するステップと、第1の平均厚さが第4のしきい値よりも小さくかつ第1のしきい値よりも大きく、第2の平均厚さが第5のしきい値よりも小さくかつ第2のしきい値よりも大きく、第3の平均厚さが第6のしきい値よりも小さくかつ第3のしきい値よりも大きい箇所を不十分な半田欠陥として識別するステップとを含む。

本発明のこれらの特徴およびその他の特徴は添付の図面を参照することによって明らかとなる。

図面の簡単な説明

第1図はこの技術の原理を示すラミノグラフィシステムの概略的な表示である。

第2a図は矢印、円、十字が3つの異なる厚さ位置で対象物にうち込まれている対象物を示す。

第2b図は矢印を含む面の上に焦点合わせされている第2a図の対象物の断面放射線写真を示す。

第2c図は円を含む面の上に焦点合わせされている第2a図の対象物の断面放射線写真を示す。

第2d図は十字を含む面の上に焦点合わせられた第2a図の対象物のラミノグラフを示す。

第2e図は第2a図の対象物の複数の二次元X線投影画像を示す。

第3a図はこの発明の画像形成装置の第1の好ましい実施例の横断面図であり、ラミノグラフがカメラによってどのように形成され観察されるかを示す。

第3b図は第3a図で示されている装置の拡大上面図を示す。

第3c図は第3a図で示されているこの発明の実施例の斜視図である。

第4図は好ましい実施例で使うためのX線のソースの回転スポットを有するX線管の側面図を示す。

第5図は第4図で示されているX線管のターゲットアノードの断面図である。

第6図は回転X線ディテクタおよびカメラシステムの断面図である。

第7図はX線ソースおよびディテクタの位置を同期化するためのキャリブレーション手順を示す概略図である。

第8図はX線ソースおよびディテクタの運動の同期化のために使われているフィードバック制御システムのための制御ブロック図である。

第9a図は第7図で示されているキャリブレーション手順で使うためのテスト取付具を示す。

第9b図は第9a図のテスト取付具のX線画像を示す。

第10a図はX線ソースおよびディテクタの位置の同期化をキャリブレーションするために使われる手順のフローチャートである。

第10b図は第10a図のフローチャートの続きである。

第11図はコンピュータ制御および分析システムのブロック図である。

第12図は主制御コンピュータの動作の概略的フローチャートであり、動作の相対シーケンスを示す。

第13図は回路基板の統合された運動および複数視野の投影画像の取得のためのタイミングサイクルの図である。

第14図はこの発明によって作成された検査報告の例である。

第15図は複数の半田接続部によって相互接続されている複数の電子素子がある典型的な回路を示す。

第16図は回路基板に結合する位置にある典型的なリードレスチップキャリア装置を示す。

第17図は電子素子および回路基板との間で形成された良品半田接続部および不良品半田接続部の例を示す。

第18図は第17図の半田接続部の断面図像を示す。

第19図は半田接続部欠陥の箇所を自動的にさがして識別する手順を示す。

第20a図は半田接合欠陥を自動的に検出して識別する工程を示すフローチャートである。

第20b図は第20a図のフローチャートの様式である。

第21図は不十分な半田を有する半田接合部を自動的に検出して識別する手順を示す。

第22図は接合部の3つの領域を示す典型的な良品半田接合部の断面図である。

第23a図は半田材料の断面画像のための画像強度対半田厚さのグラフ表示である。

第23b図は画像強度対厚さの関係をキャリブレーションするために使われているキャリブレーションステップウェッジを示す。

第23c図は第23b図で示されているキャリブレーションステップウェッジの画像強度対厚さの関係をグラフ表示である。

第24図は欠陥したまたは不十分な半田を有する半田接合部を自動的に検出して識別する工程を示すフローチャートである。

好ましい実施例の詳細な説明

全体を通して使われているように、「放射」という言葉は電磁放射を指し、電磁放射スペクトルのX線、ガンマ線および紫外線部分を含むがそれに限られない。

第1図は本発明で使われているラミノグラフィックジオメトリの図解図である。検査する対象物10、たとえば印刷基

および60aにそれぞれ対象物10内の埋込されている矢印81、円82、および十字83の形のテストパターンを有する。

第2b図は交差点70が第2a図の図60aにあるときにディテクタ30に形成される対象物10の典型的ラミノグラフィックを示す。矢印81の画像100は鮮明であり、対象物10内の他のフィーチャの画像、たとえば円82や十字83は矢印画像100をそれほど不明瞭にしないばり領域102を形成する。

同様に、交差点70が図60bにあると、円82の画像110は第2c図で見られるように鮮明である。矢印81および十字83はばり領域112を形成する。

第2d図は交差点70が図60cにあるときに十字83が形成された鮮明画像120を示す。矢印81及び円82はばり領域122を形成する。

比較のため、第2e図は従来の放射ラミノグラフィック技術によって形成された対象物10のX線断面像を示す。この技術は矢印81、円82および十字83のそれぞれ鮮明な画像130、132および134を示し、これらは互いに重畳する。第2e図は対象物10内に含まれている複数の特性が、X線画像に複数の重なる陰影のフィーチャを作成して画像の個々のフィーチャを不明瞭にするかをはっきりと示す。

第3a図はこの発明の好ましい実施例の線図を示す。

図はX線ソース20およびX線ディテクタ30に関して静止した位置で示されている。共通軸40に対するX線ソース20およびディテクタ30の回転回転は、対象物10内の面60のX線画像をディテクタ30で形成させる。図60はソース20およびディテクタ30それぞれの回転によって規定される面62および面64と実質的に平行である。面60はX線ソース20からの中央光線50および共通回転軸40の交差点70に位置づけられている。交差点70のこの点は中央光線50の焦点として働き、面60の対象物10の合焦断面X線画像を、ソースおよびディテクタが交差点70に対して同期して回転するにつれ、ディテクタ30に形成させる。面60の外にある対象物10の構造はディテクタ30ではやけたX線画像を形成する。

第1図で示されているラミノグラフィックジオメトリは本発明に好ましいジオメトリである。しかし、放射ソース20の回転軸とディテクタ30の回転軸が同軸である必要はない。図62および図64が互いに平行であり、かつソースとディテクタの回転軸が互いに平行で互いに対して固定した関係にある限り、ラミノグラフィックの条件に満たされ、面60の断面画像が作成される。これは本発明の位置の機械的整列に対していくつかの制限を減らす。

第2a図ないし第2e図は上記で説明したラミノグラフィック技術によって作成されたラミノグラフィックを示す。第2a図で示されている対象物10は3つの異なる面60a、60b

この好ましい実施例では、検査する対象物は基板210の上に搭載された複数の電子部品212を有して電気接続部214によって電気的に相互接続されている印刷回路基板210である。(第3b図参照。)典型的に、電気接続部214は半田で形成されている。しかし、電気接続部214を作るための他の種々の技術はこの技術分野において周知であり、この発明は半田接合という言葉で説明されるが、導電性エポキシ、接着剤、タンゲステンおよび金ボンドを含めてしかしこれに限られない他の種類の電気接続部210がこの発明を使って検査できることは理解されるであろう。図解基板210の領域283の上面拡大図である第3b図は部品212および半田接合214をもっとはっきりと示す。

この発明は前に説明したラミノグラフィックまたは等価な断面画像を作成することができる他の方法を使って、半田接合214の断面画像を得る。半田接合214の断面画像は自動的に評価されてその品質が決定される。この評価に基づいて、半田接合品質の報告がユーザに呈示される。

第3c図で示されているようにこの発明は、印刷回路基板210に隣接して位置づけられているX線管200を含む。図解基板210は取付具220によって支持されている。取付具220は、取付具220と基板210を3つの互いに垂直な軸X、YおよびZに沿って動かすことができる位置決めテーブルに装着されている。回転X線ディテク

タ240は発光スクリーン250、第1の鏡252、第2の鏡254を含む。図1の鏡256はX線管200の反対側の図路基板210に接続して位置づけられている。カメラ258は発光スクリーン250から鏡252、254に映された画像を観測するために鏡252の反対に位置づけられている。フィードバックシステム260は図1の鏡256の角位置を検出するセンサ263からの入力検出線262を受け、またX線管200のXおよびY偏置コイル281への出力検出線264を有する。位置決めエンコーダ265が図1の鏡256に接続されている。位置決めセンサ263は回転軸40と相対した固定位置でエンコーダ265に接続して接続されている。カメラ258は入力ライン276経由で主コンピュータ270に接続されている。主コンピュータ270は高速画像分析コンピュータ272に接続されている。データはデータベース274経由で主コンピュータ270および画像分析コンピュータ272との間で伝送される。主コンピュータ270からの出力ライン278は主コンピュータを位置決めテーブル230に接続する。

この発明の斜視図は図3c図で示されている。第3a図で示されているX線管200、図路基板210、発光スクリーン250、図1の鏡256、カメラ258、位置決めテーブル230、コンピュータ270および272に代えて、花崗岩支持テーブル290、ロード/アンロードポート2

92およびオペレータステーション294が示されている。花崗岩テーブル290はX線管200、位置決めテーブル230および図路基板210を含むがこれに固定されないこの発明の主要機能的特徴を動的に統合するための剛性の振動プラットフォームを提供する。ロード/アンロードポート292は図路基板210をマシーンに挿入または除去するための手段を与える。オペレータステーション294はこの発明の機能を制御するだけでなくオペレータに検査データを伝えるための入力/出力能力を与える。

第3a図および第3c図で示されているこの発明の操作において、図路基板210の部品212を検査する半田接合214の高解像度の断面X線画像は第1図および第2図に関して前に説明したX線ラミノグラフィ方法によって得られる。特に、第3a図で示されているように、X線管200は図路ソース280のX線282を発生させる回転電子ビームスポット285を含む。X線ビーム282は領域283内に位置づけられる半田接合214を含む図路基板210の領域283を照らす。半田接合214、部品212および基板210を透過するX線284は図1の発光スクリーン250によって送られている。

X線ソース280の位置と回転X線ディテクタ240の位置との動的差別はフィードバックシステム260によって精密に制御されている。フィードバックシステムは回転する図路基板210の位置をトラックアップテーブル(LUT)

にストアされているキャリブレーションされたXおよびYの偏置値と相関する。キャリブレーションされたXおよびYの偏置値と比較する駆動信号がX線管200のステアリングコイル281に伝えられる。これらの駆動信号に反応して、ステアリングコイル281は電子ビーム285を環状ターゲットアノード287の位置に偏置してX線ソーススポット280の位置が第1図に関して説明した形態でディテクタ240の回転と同期して変化する。

基板210を透過して発光スクリーン250に当たるX線284は可視光286に提供され、図路基板210の領域283内の一面の可視画像を作成する。可視光286は鏡252および254によって反射されカメラ258に入る。カメラ258は典型的に低い光レベルの閉回路テレビ(CCTV)カメラを含む。X線および可視画像に対応する電子ビデオ信号をライン276経由で主コンピュータ270に伝送する。電子ビデオフォーマット画像はライン274経由で高速画像分析コンピュータ272に伝送される。画像分析コンピュータ272は半田接合214の品質を決定するために画像を分析および解釈する。

主コンピュータ270はさらに位置決めテーブル230をして図路基板210の動きを制御して検査領域283内で図路基板210の異なる領域が動的に位置づけられるようにする。

図1 X線ソース

第4図は図路基板の高解像度ラミノグラフィを作成するためにX線282の回転電子ビーム285を与えることができるX線管200を示す。管200は高電圧電極部分320に接続して接続されている電子銃310を含む。焦点コイル330およびステアリングコイル281は電極部分320および環状ターゲットアノード287の間に位置づけられている。電子ビームストップ360およびX線窓370は環状ターゲットアノード287によって規定される中央領域内で位置づけられている。真空エンベロープ380はX線管アセンブリ200の真空中にされた部分を含む。

操作中、電子銃310は電子ビーム285を高電圧電極部分320に近づける。高い直交電圧が電子銃310およびターゲットアノード287の間に与えられて電子ビーム285を加速し、案内してアノード287と衝突させる。高電圧電圧の部分は電極322に与えられて電子ビーム285を案内し、加速し、形作る。好ましい実施例では、高電圧信号は約160キロボルトであり、電子ビーム285を介してアノード287に約7.5マイクロアンペアの電流を与えることができる。好ましくは、高電圧信号は約0.01%の精度内で一定に維持される。これらの値は例示的であって他の電圧、電流、精度を設けることができることは理解されるであろう。

電極部分320を接続すると、電子ビーム285は電子ビームの形および方向が焦点コイル330およびステアリン

グコイル281によって影響される管の領域に入る。好ましい実施例では、コイル330および281は電子ビーム285と相互作用する電磁界を発生して電子ビーム285の焦点を合わせるだけでなくアノード287の特定位置に向ける。X線ソース280はこれらの特定位置と一致し、X線ビーム282が放たれる。この態様で、非常に小さい直径約20μmの電子ビームスポットがこれらの位置でアノード287に形成される。ラジオグラフィの分野でよく知られているように、このスポットの大きさはX線ソース280から得られるX線画像の全体の解像度を決定する上で非常に重要な役割を果たす。

ステアリングコイル281は円状アノード287と合わせてX線管200がソース280からX線を発生させることを可能にし、ソース280の位置はアノードをまわる円形のパターンで動く。円形パターンは対象物410の断面図面図403内の点402を中心としている。

特定の、ステアリングコイル281は電子ビーム285をアノード287の内側表面354のいかなる望ましい部分にも向けることができる。電磁コイル281を通常に同期化されたXおよびYの駆動信号で駆動させることによって、電子ビーム285はアノード287に向かって掃掠されてビームがアノード287の内側表面354に沿った円形経路を動く。

好ましい実施例では、ステアリングコイル281は電子

タングステン表面354が置かれるサブストレート356は銅または他の適切な金属であってもよい。たとえば銅のような高い熱伝導率を有する材料は、電子ビーム285のエネルギーがアノードに与えられるときにターゲットアノード287にかなりの加熱が起こるので、この応用に特によく適する。銅サブストレート356は電子ビーム285がアノード287と衝突する位置280からのこの熱を取り除くために非常に効率的な良好な熱伝導体を与える。

電子ビーム285がタングステン図354に衝突することによって発生した放射線ビーム282は窓370を通過して管200から出る。窓370は電子ビーム285が低圧する管200の真空エンベロープの一部を形成し、管内の表面354で生じたX線が強度およびエネルギーの最小損失で管の真空部分から出ることが可能とする。X線管のX線窓を形成するのは一般にチタンが使われており、この材料の窓370で好ましい。しかし、窓370を形成するために他の材料を使うことができることも理解されるであろう。

同時に基板または他の対象物410のX線検査中、基板の異なる領域が検査領域400内に入るように回転基板が動かされている間はX線をオフにすることがしばしば有利である。X線はできるだけ遠くオンおよびオフにされることが望ましい。さらに、サイクルのすべてのオン部分の間には発生したX線は実質的に同一のエネルギー、強度および光學

ビーム285をそれぞれXおよびY方向に偏向させる別々のXおよびY電磁コイルを含む。コイル281を流れる電流は電子ビーム285と相互作用する電磁界を作りビームを偏向させる。これらのコイル281は螺線および環線において磁石磁石(CST)に見られるヨークコイルと類似している。しかし、静電偏向技術も電子ビーム285を偏向するために使われることは理解されるであろう。

電子ビーム285がアノード287に当たる表面354は、X線ビーム282の中央X線392がソース位置280で始まり、点402の方向に向けられるように形成されている。こうして、電子ビーム285が表面354に沿った円形経路を描きながら、中央ビーム392は必ず同じ位置402に向けられる。

アノード287の表面354を形成する材料は、電子ビーム285が表面354に当たったときに発生する放射が望ましいエネルギー特性を有するものが選択される。ターゲット材料を加速電子ビームによって bombard することによって発生する放射は制動放射(Bremsstrahlung radiation)として知られている。制動放射の特性は電子ビームのエネルギーおよび電子ビームが向けられるターゲットの材料組成分によって主に決定される。好ましい実施例においては、電子ビーム285によって bombard される表面354はタングステン金属層によって覆われている。

特性を有するオン/オフサイクルを得ようのが望ましい。X線管200は、電子ビーム285をビームストップ360に向けることによってX線のこの迅速なオン/オフ安定サイクルを達成する。電子ビーム285のこの振動はX線が窓370から出るのを防ぐ。こうして、対象物410に向けられた放射線強度は、対象物が形成領域づけられる間は止められる、すなわちオフにされる。電子ビーム285のビームストップ360への偏向を達成するのに、ステアリングコイル281が適切な手段を与える。X線をオフにするこの方法は、電子ビーム285およびX線ビーム282の特性に影響するX線管の他のすべての機能がオン/オフサイクル中は乱されないようにする。したがって、電子ビーム285がサイクルのオン部分でアノード287に再度向けられると、X線ビーム282の特性は前のオンサイクルと実質的に変わっていない。

ビームストップ360はX線を非常に低減させる材料、たとえば銅または銅で形成されている。ビームストップ360の厚さ、位置、形状は、ビームがビームストップに向けられたときに窓370経由でX線が管200から出るのを防ぐのが選択される。これらのパラメータはX線管設計の技術における当業者によって簡単に決定できる。

アノード287の断面図面図354で示されている。この好ましい実施例では、回転ターゲット表面354は軸404に対して斜角である円錐の一部分を含む。ターゲット

トアノード287は、内蔵の軸404が管200の中央2軸と一致するように管200に設置される。こうして、電子ビーム285が406として示されている半円形の円形電極で検出されると、結果として従来の電子線放射ソースと等価であるエネルギー、強度、焦点特性を有する放射のソース280の移動スポットが生じる。アノード287の他の形状を従って同じ結果を得ることができるのも理解されるであろう。

こうしてX線ソース200は、画像を拡大するジオメトリで使われても高解像度のX線画像を得るために適するX線ソースを与える。さらに、ソース200はこのX線のソースをモニタグラフを作るのに適した円形パターンで動かすことができる。この円形運動は画像解像度または取得の速度を犠牲にすることなく達成することができる。放射ソースの回転は電子的に達成されるので、可動部品は必要でなく、したがって振動やその他の機械的システムの望ましくない特性をなくす。上記に説明した特性を有するX線ソースはモデル番号K160Rとしてケベックス・コーポレーション (Kevex Corporation) から入手できる。他の電気的操舵可動X線ソースは「X線の発生にかかわる方法および装置」 (Method And Apparatus Involving the Generation of X-Rays) と題された米国特許第4,075,489号；「X線透過スキャニングシステムおよび方法ならびにそこで使うための電子ビームX線

スキャン管」 (X-Ray Transeslusion Scanning System and Method and Electron Beam X-ray Scan Tube for Use Therewith) と題された米国特許第4,352,021号；および「X線管および装置」 (X-Ray Tube and Apparatus) と題された米国特許第2,319,350号で説明されている。これらの特許は引用によりここに採用される。

回転X線ディテクタ

第6図では第3図で簡述して別に説明され、また対象物630の断面画像を得るために回転X線ソース280と関連して使われた回転X線ディテクタシステム240の概略図である。第6図で示されているように、対象物630のX線画像がX線ビーム284によって回転蛍光スクリーン250に形成される。スクリーン250は従来の光学装置による検出のためにこれらのX線光子を光信号286に変換する。この好ましい実施例では、回転蛍光スクリーン250からの光信号286は閉回路TV (CCTV) カメラ258によって検出される。カメラ258はこの光信号286を電気信号に変換してコンピュータシステム270および272によってさらに処理される。スクリーン250に形成された光学画像はスクリーンとともに回転する。回転光学画像を処理するCCTVカメラ258の機械動作の必要をなくするために、光学画像は光学鏡252および254によって回転ディテクタ240内で非回転となり、回転スクリーン250に形成された回転光学画像がカメラで

観測されると許しているように見える。

回転X線ディテクタ240はベアリング200によって軸404に対して回転可能に設置されている回転盤256を含む。軸404は回転X線ソース280が回転する軸と名目上は同一であることに注意されたい。蛍光スクリーン250は回転盤256の上に設置される。2つの鏡252および254は回転盤256内に互いに平行に、そして軸404に対して45°の角度で傾斜されている。鏡252は回転盤256の中心に設置されて鏡の中央部は軸404と交差する。鏡254は第1の鏡252および蛍光スクリーン250の両方に面するように回転盤256内で傾斜される。蛍光スクリーン250、鏡252および254は、回転盤、鏡およびスクリーンが1つの単位として軸404に対して回転するように回転盤256に装着される。既、回転盤、スクリーンのこの配置は、ディテクタ240が軸404に対して回転するときスクリーン250に形成される光学画像に対する光学非回転アセンブリを形成する。

対象物630のX線投影画像はX線ビーム284がスクリーンに当たると蛍光スクリーン250に形成される。蛍光スクリーン250はX線-光変換器として動作する。たとえば、X線284がX線ソース280に面するスクリーン250の表面651に当たると、可視光286がX線ソース280と反対のスクリーン表面652から放たれる。蛍光スクリーン表面652から放たれる光信号286は

2つの平行鏡252および254に反射されて閉回路TVカメラ258に送信されているレンズ699に入る。

蛍光スクリーン250は、放射ソース280の移動スポットの円形運動によって検定される面62と実質的に平行である面64に於いて軸404に対して均一の角度的速度で機械的に回転させられる。鏡252、254は光学画像を回転蛍光スクリーンからレンズ699を通して静止カメラシステム258に映して、面64の画像の回転がカメラ258にはっきり見えぬようにする。この鏡の配置は「トモスコープ」 (Tomoscope) と題された米国特許第2,998,511号で前に説明されている。

蛍光スクリーン250が回転する回転盤256に固定的に設置されている結果、スクリーンに形成される対象物630の一面の画像は、軸404に対して円形運動を遂げるスクリーンに関して異なる配向を有する。したがって、スクリーンに対する画像の動きによって起こる画像のブレを避けるために、スクリーン表面の蛍光の点は、その点がX線に当たらなくなった後は速に抑止されることが望ましい。好ましい実施例では、蛍光スクリーン250はプラセオジムドープされたガドリニウム・オキシ硫化物、 $Gd_2O_3:BiPr$ を含む。プラセオジムドープされたガドリニウム・オキシ硫化物は、スクリーンに関して画像の動きによるブレを防ぐのに十分「速い」シンチレーション材料であり、カメラシステム258による検出のために十分な光出力を

与える。

代替として、「より速い」スクリーンを扱うことができる。しかし、移動ブレを防ぐために、スクリーン250はスクリーンに形成された対象物630の位置がスクリーンに対して静止したままであるように、回転盤250に回転駆動をせねばならない。このような駆動は、たとえば1回のギアによって達成することができ、軸404に対する回転盤の回転と同軸した回転盤に関するスクリーンの円形運動を重複させる。

光学非回転アセンブリを形成する回転X線ディテクタ240のための代替の実施例(示されていない)は、2つの平面鏡252、254を、発光スクリーン250に結合されてスクリーンと一致して回転する適切に曲げられた面像導体のまわり、たとえば光ファイバと置換する。面像導体は発光スクリーン250からの面像を回転軸404の中央の位置に伝送して、第3図および第6図で示されている2つの平行線と同じ効果をもたらす。これらの面像導体は光ファイバ、電子導体または導体の素子を含むことができる。

断面画像の形成

前述のように、対象物630の断面画像は、スクリーン250およびX線ソース280が軸404に対して同軸して回転するにつれ、スクリーン250に形成される。ラノグラフ技術のばやけ効果および画像解像度は、断面画像

が軸404に対してスクリーン250およびソース280が完全に回転する間に得られると最大限となる。カメラシステム258は発光スクリーン250の断面画像の発生を、図252および254を含む光学非回転アセンブリによって検出する。

発光スクリーン250が高い強度発光信号を放たないかもしれないので、光学信号286を高感度、低い光レベル調整によって検出することがしばしば有利である。低い光レベル検出装置の使用は、スクリーンの1回転の間に発光スクリーン250から放たれた光学信号286のより大きい割合を検出することによって、検出する画像品質を向上させる。多くの低い光レベルカメラシステムは低い光レベル感度を向上させるために画像増倍管をカメラシステムの一部として組み込んでいる。1つの特定のシステムはシリコン強化ターゲット(SIT)カメラとして知られており、非常に低い光のレベルを検出することができる。SITカメラシステムは周知であり、簡単に入手できる。本発明の好ましい実施例はRCAモデル番号4804B SP2-12 SIT管に基づくSITカメラシステムを使用する。

好ましい実施例では、1つの断面画像は、1分間に約600回転という割合で軸404に対して回転する発光スクリーン250の回転中に約0.1秒で得られる。1回の完全な回転で、各フレームが1秒の1/30の持続時間を有する3つのビデオフレームがカメラ258によって集めら

れる。3つのビデオフレームはカメラ258から各コンピュータ270(第3図で示されている)に送られて、そこで3つのフレームが平均され、軸404に対してスクリーン250の1回転の間に発光スクリーン250に形成された対象物630の断面画像のデジタル表現が形成される。代替的に、カメラ258をCRTに接続して、断面画像を直接見ることもできる。

ソース/ディテクタの同期化

高解像度のラノグラフ断面画像の形成は、放射ソース280およびディテクタスクリーン250の円形運動の精密な整列および同期に依存する。第7図で示されているように、適切な整列および同期はソース280からの中央X線392が軸404にある固定点780を通り、中央X線392が常にディテクタスクリーン250の表面の点880に向けられるようにすると達成される。第7図で示されている特徴では、固定基準位置に対して、ソースおよびディテクタスクリーンの角度的位置が180°で分けられているときにこれが明らかに得られる。

ソース280およびディテクタスクリーン250の好ましい整列および同期化は第3図で示されているフィードバックシステム260によって達成されている。X線ディテクタスクリーン250が検出されている回転する回転盤286の位置はセンサ263によってモニタされる。回転盤の位置はフィードバックシステム260に伝えられて、

回転盤の位置に対応する駆動信号を電子ビーム偏向コイル281に与える。回転盤が軸404に対して回転する間ソース280およびスクリーン250は必ず整列するように、駆動信号がX線ソース280の位置を制御する。この態様で、フィードバックシステムは正確な断面画像の発生に必要な精密なジオメトリを維持する。このシステムはX線管200および回転X線ディテクタ240の不正な整列と、ターゲットアノード287とその表面コーティング354の損傷上の、換着上の、および製造上の不正および欠陥と、X線管を通る電子ビーム285の経路の収差たとえば焦点収差と、画像形成中の回転盤の回転速度の変化とを補償する。

フィードバックシステム260の典型的なブロック図は第8図で示されている。フィードバックシステム260はX線アップテーブル(LUT)720XおよびY線アップテーブル720Yと、XのD/A変換器(DAC)723XおよびYのD/A変換器(DAC)723Yと、Xコイルドライバ724XおよびYコイルドライバ724Yとを含む。LUTの720Xおよび720Yは好ましくは固体のデジタルランダムアクセスメモリ(RAM)である。フィードバックシステムは回転するX線ディテクタ240を各コンピュータシステム270の制御の下にX線管偏向コイル281に接続する。

回転X線ディテクタ240が軸404に対して回転する

と、位置決めセンサ263はディテクタ340の角度位置を位置決めエンコード265から検出する。検出された角度位置はディテクタの角度位置と対応するXおよびYのアドレス信号に変換される。アドレス信号は通信線721経由でXのLUT720XおよびYのLUT720Yに伝えられる。ソース/ディテクタ登録キャリブレーション手順によって、XおよびYのキャリブレーションデータはディテクタの各角度位置に対してXのLUTおよびYのLUTにストアされる。こうして、エンコードのXおよびYアドレスとLUTのXおよびYのキャリブレーションデータの間に1対1の関係が存在する。XおよびYのキャリブレーションデータは電子デジタル信号の形でLUTから検出される。電子デジタル信号はXのLUTとYのLUTから通信線720Xおよび720Y経由でXのDAC723XとYのDAC723Yにそれぞれ伝えられる。DACはデジタル信号をアナログ電気信号に変換してライン725Xおよび725Yからコイルドライバ724Xおよび724Yに送る。コイルドライバはそれぞれのアナログ入力信号を増幅して結果の出力信号をライン726Xおよび726Y経由でそれぞれコイル281Xおよび281Yに与える。ソースおよびディテクタの適切な登録のために必要な電子ビーム285の精密な指向を得る。電子ビームは出力信号をコイル281に適用することによって発生した磁界による磁気作用によって偏向される。電子ビームが境界を横切る

と、それに偏向され、アノード287のX線ソーススポット280の位置を動かす。スポットが動く距離はキャリブレーションデータによって決定される距離信号の大きさに比例する。

LUTキャリブレーションデータは第7図で概念的に示されたキャリブレーション模式を使って決定される。テストパターン730は位置780で幅404と交差するようにX線ソース280およびディテクタスクリーン250の間に位置づけられる。テストパターン730の従来のX線シャドウグラフ画像830はスクリーン250に形成される。スクリーン上のX線画像830の光学像はカメラ258によって検出される(第3図参照)。光学像の電気的像はライン276での電気的信号によってカメラ258から主コンピュータ270および画像分析コンピュータ272に出力される。ライン276の電気信号はコンピュータ270によってデジタル化されてデジタルフォーマットでコンピュータ270のメモリにストアされる。

第9図で示されているように、テストパターン730の好ましい実施例は、たとえばプラスチックのようにX線に対して比較的透明である材料の基板732を含んでいる。基板732はその長さおよび幅は約0.5×0.5インチであり、厚さは約0.1インチである。基板732の中央位置780では直径0.001インチの3本のタングステンワイヤ781a、781bおよび781cがあり、ワイ

ヤ781cが中央位置780を横切るように配向されている。ワイヤ781aおよび781bはワイヤ781cの反対側にあるようにかつワイヤ781aおよび781bを接続するラインも中央位置780を横切るように基板732に配置されている。こうして、ワイヤ781a、781bおよび781cは中心が位置780にある基準十字線781を形成する。十字線781のまわりには少なくとも他のX線不透過性材料で作られた8個のマーク782が装着されている。マーク782aから782dは約0.0625平方インチ、厚さ約0.004インチであり、基板732の4つの角の近くに位置づけられている。マーク782eから782hは約0.0625平方インチ、厚さ約0.008インチであり、マーク782aから782dの中間に位置づけられている。

テストパターン730の典型的なX線シャドウグラフ画像830の表現は第9図で示されている。マーク782aから782hは画像830の両端領域82aから82hをそれぞれ形成する。テストパターン730の中央780は画像の中心880によって表わされている。同様に、タングステンワイヤ781aから781cはそれぞれ画像領域881aから881cを形成する。

領域884aから884dによって表わされている画像830の部分は、マーク882の画像およびタングステンワイヤ881を取巻く長方形の関心領域(ROI)88

4を形成する。関心領域884はデジタルフォーマットでコンピュータ270にストアされる。同様に、デジタルでストアされた画像はピクセルアレイを含む、各々のピクセルが画像の小さな部分を表わす。特に、関心領域884は境界884aに始って912個の列および境界884bに始って480個の行からなるピクセル格子に分けられる。格子の各ピクセルはその対応する列および行の指定によって表わされる。たとえば、関心領域884の左下隅角885はピクセル(0,0)によって表わされている。同様に、角886はピクセル(511,0)、角887はピクセル(511,479)そして角888はピクセル(0,479)によって表わされる。中心位置880はピクセル(256,240)によって表わされている。1つの実施例では、画像830の角885と角886の間の距離はテスト画像730の約0.400インチに対応する。同様に、角885および角888の間の距離はテストパターンの約0.375インチに対応する。

XおよびYのLUTのためのキャリブレーションデータの決定はテストパターン730を使って手動的にまたは自動的に行なわれる。再び第3図および第7図を参照すると、X線ソース280、テストパターン730、回転鏡258およびカメラ258の最初の整列は手動的に行なわれる。まず、テストパターン730は中央780が幅404と交差するように位置づけられる。次にX線源200、回

回転256およびカメラ258は、スクリーン250に形成されるテスト取付面830が、傾404に対するソース280および回転256の1回転の間カメラの視野の範囲内にずっと入るように連続的に整列される。このようにシステムが連続的に整列されると、回転256は $\theta = 0^\circ$ として規定された初期の角度位置に位置づけられる。この初期位置で、カメラによって検出されそしてコンピュータにストアされたデジタル画像の中央ピクセル(256, 240)はスクリーン250の位置880と対応する。ソース280は約 $\theta = 180^\circ$ の角度位置に対応する位置280aに位置づけられ、したがってテストパターン画像830がカメラの視野範囲内に置かれる。テストパターン画像830の画像中心880が中央ピクセル(256, 240)に落ちなければ、XおよびYの偏向量はソース280の位置280aを変更するように調整されて、それでスクリーン250の画像中心880の位置を定める。偏向量は画像中心880が中央ピクセル位置(256, 240)に正確に位置づけられるようになるまで調整される。これらの偏向量は次に回転256の位置 $\theta = 0^\circ$ のキャリブレーションデータとしてLUTの720にストアされる。回転256およびスクリーン250は次に角度 $\theta = \Delta\theta$ に対応する新しい角度位置に動かされる。ソース280は約 $\theta = \Delta\theta + 180^\circ$ の角度位置に対応する位置280bに動かされ、テストパターン画像830をカメラの視野範囲

内に置く。テストパターン画像830の画像中心880が中央ピクセル(256, 240)に落ちなければ、XおよびYの偏向量は画像中心880が再び中央ピクセル位置(256, 240)に正確に位置づけられるようにソース280の位置280bを変更するために調整される。これらの偏向量は次に回転256の位置 $\theta = \Delta\theta$ のキャリブレーションデータとしてLUTにストアされる。LUTキャリブレーションデータを決定するためのこの手順は、ソース280および回転256が傾404を完全に1回転するまで $\Delta\theta$ の増加で続けられる。

ソースの280a、280b、280c、…、280nの位置のために決定されるLUTキャリブレーションデータは、角度位置 θ の関数として半径rの円形を幾何学式を決定するために使われる。半径rは回転ソース280がたどる経路の名目上の半径である。この式は位置280a、280b、280c、…、280nの中間にあるソースの位置のためのキャリブレーションデータを計算するために使われる。

第10図は偏角コイル281を制御するためにXおよびYのLUT720にストアされるXおよびYのキャリブレーションデータを決定するためにキャリブレーション手順によって行なわれる論理シーケンスステップの基本的フローチャートである。第1に、前述のように、第3a図で示されているように、この発明の機構は、X線管200、図

回転アセンブリ258およびXY2位置決めテーブル230を含む組立てられて大体の整列で整着される。次にテストパターン730がXY2位置決めテーブルに装着されて、テストパターン730の中央位置780が中央傾404とX線ソース280からの名目上の中央X線92の交差点によって表わされている点780と一致するような位置にXY2位置決めテーブルによって動かされる(第7図参照)。

X線管200および真空アセンブリを連続的に整列するステップは第10図のアクティビティブロック904によって表わされている。例題はアクティビティブロック904から経路906経由でアクティビティブロック908に渡され、そこでテスト取付面730が位置決めテーブルに装着および整列される。例題は経路910経由でアクティビティブロック912に渡され、そこでX線ソースがオンにされて電子ビームがビームダンプ位置に向けられる。これはテストパターンおよびディテクタをX線にさらすことなくX線管を安定させることを可能とする。例題は経路914経由でアクティビティブロック916に達し、そこで角度位置実数 θ およびアドレスインデックス実数iはそれぞれ $\theta = 0^\circ$ および $i = 1$ で初期化される。例題はアクティビティブロック916から経路918経由でアクティビティブロック920に渡される。アクティビティブロック920はLUTの初期化を次の初期近値によって表わす:

$$L_{x1} = A_r \sin \theta \quad (1)$$

$$L_{y1} = A_r \cos \theta \quad (2)$$

ここで A_r は回転ソース280の直径半径と比例し、iは角度位置 θ と対応する偏向データを含むLUTアドレスである。ブロック920から経路922経由で進められるアクティビティブロック924では、角度位置 θ は $\Delta\theta$ によって増加され、そしてインデックスiは1つ増加される。1つの好ましい実施例では、角度増加 $\Delta\theta$ は約0.022°であり、1回転において約16,384の角度位置に対応する。この実施例では、XおよびYのLUTは各偏角角度位置に対応してそれぞれの偏向データをストアするために少なくとも16,384のアドレス位置を有し、そしてアドレスインデックスiは1から少なくとも16,384までの範囲の整数をとる。例題は次に経路926経由でディシジョンブロック928に渡される。ディシジョンブロック928では、 θ の値は360°よりも大きい又は等しいかどうかチェックされる。もし θ が360°より大きくないまたは等しい場合、例題は経路930経由でブロック920に戻される。 θ が360°より大きいまたは等しい場合は、例題は経路932経由でアクティビティブロック934に渡される。920から928のステップはループを形成し、利用できるすべてのLUTアドレスは初期偏向値でロードされて、電子ビームがX線管のアノードに円形経路を描かせる。16,384の異なる角度位置を有する実施例では、920から928のステップは約16,384回実行され

る。

LUT初期処理が完了すると、制御は経路932からアクティビティブロック934に渡され、そこでディテクタは $\phi = 0^\circ$ として規定される初期基準位置に位置づけられる。次に制御は経路936経由でアクティビティブロック938に移され、そこでLUTにストアされている実行データ(L_{x1} 、 L_{y1})がX線ソースの回転を利用するために使われる。アクティビティブロック938が経路936経由で入ると、LUTの中の実行データは式(1)および(2)に従って計算された初期値であり、次に説明するキャリブレーション手順によって計算される最終値の初期近似値を示す。

LUTキャリブレーションデータの決定は経路940経由でアクティビティブロック942に進む。ブロック942では、回転X線ソース280はほぼ $(\phi + 180^\circ)$ に等しい角度位置 ϕ に止められ、ここで ϕ はX線ディテクタの角度位置である。たとえば、ディテクタが初期位置 $\phi = 0^\circ$ にあると、X線ディテクタはブロック942の角度位置 180° で位置づけられる。16、384の角度位置および対応するLUTアドレスを有する装置例では、LUTメモリ位置 L_{x1} および L_{y1} にストアされている値は、 180° のX線ソースの角度位置に対応するアノードの位置に電子ビームを偏向させる。

アクティビティブロック942で回転X線ソースを角度

0で止めた後、制御はライン944経由でアクティビティブロック946に渡される。アクティビティブロック946では、テストパターン730の断面画像830が得られてデジタル画像メモリにストアされる。好ましい実施例では、画像メモリは512の列および480の行を有するピクセル格子を含む。

経路948は制御をアクティビティブロック946からアクティビティブロック950に移し、そこで画像830の画像中心880の位置を含むピクセル(C_c 、 R_c)が読まれる。 C_c および R_c は画像の中心を含む画像ピクセルの列及び行座定であり、単独またはコンピュータ分析技術によって自動的に識別することができる。

アクティビティブロック950で決定される画像中心ピクセル位置(C_c 、 R_c)は経路952経由でアクティビティブロック954に渡され、ディテクタ中心からの画像中心の相対的ずれが次の式に従って計算される：

$$\Delta C = 256 - C_c \quad (3)$$

$$\Delta R = 240 - R_c \quad (4)$$

ΔC および ΔR は、テストパターン画像の中心(C_c 、 R_c)がピクセル(256、240)として規定されるデジタル画像の中心からずれている距離によって表わされる。

アクティビティブロック954で計算される ΔC および ΔR は経路956経由でディシジョンブロック958に渡され、そこで ΔC および ΔR が0の値と比較される。 Δ

C または ΔR が0と実質的に等しくない、すなわちその絶対値が任意の小さな値、 ϵ よりも小さくなければ、テストパターン画像中心はデジタル画像中心と一致せず、制御は経路960経由でアクティビティブロック962に渡され、そこでLUTキャリブレーションデータが適宜に調整される。

アクティビティブロック962では、LUTキャリブレーションデータ L_{x1} と L_{y1} は次の式に従って調整される：

$$L_{x1}' = L_{x1} + f(\Delta C, \Delta R) \quad (5)$$

$$L_{y1}' = L_{y1} + g(\Delta C, \Delta R) \quad (6)$$

数学関数 $f(\Delta C, \Delta R)$ および $g(\Delta C, \Delta R)$ はLUTの値 L_{x1} および L_{y1} のための調整値を計算するために使われ、中央付けニラ ΔC および ΔR を減じる。LUTの L_{x1} および L_{y1} の値はそれぞれ調整された値 L_{x1}' および L_{y1}' に置換される。この調整されたLUTの値はライン964経由でアクティビティブロック938に伝えられ、ステップ938、942、946、950、954、958、962を含む第1のループは、画像中心がデジタルの画像中心と実質的に一致するまで再実行される。画像が中心に置かれると、 ΔC および ΔR は実質的に0に等しく、ディシジョンブロック958から経路960経由でアクティビティブロック968に制御が渡される。

ブロック968では、ディテクタの位置は $\Delta\phi$ の量によ

って次の角度位置 $(\phi + \Delta\phi)$ に増加される。ディテクタの新しい角度位置は経路970経由でディシジョンブロック972に渡されて、新しい角度 ϕ が 360° より大きいまたは等しいかどうかを決定する。もし ϕ が 360° よりも小さければ、制御は次に経路974からアクティビティブロック938に渡される。第1のループおよび行加のステップ968および972を含む第2のループが、ディテクタが1回転するまで、すなわち ϕ が 360° より大きいまたは等しくなるまで再実行される。

好ましい実施例では、角度増加 $\Delta\phi$ はLUTの連続する入力の間の角度増加 $\Delta\theta$ よりも実質的に大きいものが選択されて、1回転のキャリブレーションが短時間で計算されるようにする。たとえば、増加 $\Delta\phi$ が 10° に等しければ、1回転は第2ループの35回の実行で計算できる。36の計算された位置の中間の位置に対応する現在のLUTの値は、アクティビティブロック972で示されているように最後の計算値間で補間することによって決定される。次に制御は経路980経由でアクティビティブロック982に渡されて画像の中央付けを任意にテストする。

アクティビティブロック982では任意の角度位置が選択されて中央付けの精度が決定される。選択された位置のすべての算数的エラーを反映する中央付けエラー ΣR が計算される。中央エラー値は経路984経由でディシジョンブロック986に渡されて、そこで値が0または他の所

定の値と比較される。ERRが實質的に0でなければ、制御は経路988経由でアクティビティブロック990に渡される。

アクティビティブロック990では、最初に決定された36の値の中間に位置づけられている付加のLUT値し、およびLUTは、36の付加の値に対して第2のループを再実行することによって経験的に決定される。たとえば第2のループの第1回目の実行で決められた値が角度 ϕ 、 $\phi=0, 10, 20, 30, \dots, 340$ および350度であるなら、第2のループの第2回目の実行で決定された中間角度は $\phi_s=5, 15, 25, 35, \dots, 345$ および355度である。

ステップ978, 982, 986, 990を含む第3のループは、エラー値が實質的に0、またはすべてのLUT位置が経験的に決定されるまで再度実行される。次に制御が経路994経由でキャリブレーション手順の最後に進まれる。

好ましい実施例では、LUTによって変えられる位置の合計数は約16,000である。連続するキャリブレーション位置の間のブロック938および942で示される電子ビームの回転の開始および停止は少なくとも2つの機械を要する。第1に、回転電子ビームはアノード上の1つのスポットに長い時間当たらないからX線管のクローグアノードの温度が加熱を助長することができる。第2に、ステア

リングコイルのヒステリシス影響は完全なヒステリシスサイクルを通る連続する通過によって自動的に補償される。上記のキャリブレーション手順はオペレータの制御の下に手動で、またはコンピュータ制御の下に自動的に実行されることが望まれるであろう。

回転ディテクタの位置決めエンコードからの信号がしリTに到達し、対応するしリT値がX線管の偏向コイルを駆動させるのに要する時間是有利益であるので、回転ディテクタの位置が検出されしリTに送達される時間とその対応する偏向データがしリTからX線管偏向コイルに伝送されるまでの間に時間差または遅れがあるかもしれない。非常に遅いまたは0の回転では、この遅れは重要でない。しかし、回転率が増加するにつれ、遅れはどんどん大きくなる。位置決めエンコードおよびしリT間に位相オフセットを挿入することによってこの遅れは補償できる。最適位相オフセットは図830の焦点を評価しながらオフセットを反えることによって決定される。最適のオフセット以外では、画像は歪む。最適オフセットはディテクタが一定の速度で回転する間の最も鮮明な画像に対応する。

X線ソースおよびディテクタの回転を同期化するのに他のキャリブレーション手順を使うことができるのも望まれるであろう。

コンピュータ制御および分析システム

図11図は本発明の自動ラミネグラフィ検査システムのため

めのコンピュータ制御および分析システムアーキテクチャのブロック図である。コンピュータシステムは主制御コンピュータ270を中心としている。ビデオフレームグラバ1002はプラグインボード経由でコンピュータ270に接続される。低光レベルカメラ258はライン276経由で主コンピュータ270に接続される。X線1004、運動制御1006、オペレータ1008、安全1010、およびプリントアウト1012を含む種々のサブシステムは、通信線1005、1007、1009、1011、1013経由でそれぞれ主コンピュータとつながる。複数高速度画像分析コンピュータ272a, 272b, ..., 272nはまた「分析エンジン」とも呼ばれ、データネットワーク274経由で主コンピュータとつなぐ。このコミュニケーションは、主コンピュータと分析エンジンとの間でデータネットワーク274経由で渡される「メッセージ」の形をとる。分析コンピュータ272はまた通信線1014経由でフレームグラバ1002と通信する。好ましい実施例では、それぞれの分析コンピュータ272は80386CPU、5メガバイトのランダムメモリおよびビデオフレームグラバメモリでCOMPAG[®] 386プロセッサボードを含む。主コンピュータ270も80386CPUでCOMPAG[®] 386プロセッサボードを含む。分析コンピュータ272は標準SCSIネットワークによって主コンピュータ270に接続されている。

動作中は、主コンピュータ270は1012経由で種々のサブシステム1004を介して検査システムの動作を制御する。主コンピュータはさらにラミネグラフィ画像の取得および分析を制御し、そこから検査している項目の品質の測定が引出される。主コンピュータはこの発明の操作を2つの方法で自動的に制御する。第1に、デジタル断面積像を生成するためにプログラムされた運動のシーケンスが実行される。第2にプログラムされた分析手順が自動的にデジタル断面積像を検査および解釈する。1つの断面積の分析は第2の画像の取得と同時に進行することができる。主コンピュータシステムによって行なわれる分析は、検査している項目の検出された種々の欠陥およびその他の状態を分類する出力データリストが結果となる。

特に、図3a図および図3b図で示されているように、印刷回路基板の半田接合の検査のために、コンピュータは図830が装着されているXY2位置決めテーブル230の動きを制御する。1つの断面積像内に入る領域、たとえば0.400インチ×0.375インチはしばしば検査されるべき断面積像または他の品目の全体の領域よりも小さい。この場合、品目は複数のXY2位置決めによって論理的に区別され、それが組合せられると断面積像の全体の検査領域を含む。主コンピュータは適切な運動コマンドをXY2位置決めテーブルに発行することによって検査するためのそれぞれのXY2断面積像を位置づける。最後の

XY検測回路が検査のために位置づけられると、特定の断面画像が得られてカメラで撮合される。次に画像のビデオ信号がカメラから高速画像分析コンピュータ272に伝送される。回路基板は特定の断面画像として、半田接合の異なる面を焦点に合わせるために特定のZ位置に動かされることができる。

回路基板の好ましい位置シーケンスは、固定XY位置に対する必要なすべてのZレベル画像を撮めて、それから次のXY位置に動いて、その位置に対する必要なすべてのZレベル画像を撮めることである。このステップ・エンド・リピート・シーケンスは、基板のすべての必要な領域およびレベルが画像化されて分析されるまで繰返される。

主コンピュータの制御の下に行なわれる、回路基板のすべての半田接続部の完全な自動検査は、検査している特定の回路基板設計のためにあつていられる様にプログラムされた検査ルーチンを用いる。基板は位置され、各半田接続部は断面画像の取得および分析を通して検査される。

この自動検査ルーチンのステップを説明するフローチャートは第12図で示されている。アクティビティブロック1050で始まり、検査する回路基板はこの発明のロード/アンロードポート292に挿入される(第34図参照)。次に回路は経路1052経由でアクティビティブロック1054に送られて、そこで主コンピュータがXYZ位置決めテーブルにメッセージを送って、回路基板を第1のX

Y位置位置に動かす。

経路1056を通じて、ルーチンはアクティビティブロック1058、1062、1066、1070、1074を含む第1のループに入る。アクティビティブロック1058では、主コンピュータは基板が第1の観測位置にあるというメッセージを受取る。主コンピュータは次にその位置での基板の断面画像が得られるようにX軸およびディテクタサブシステムを制御する。断面画像が得られると、制御は経路1060経由でアクティビティブロック1062に渡って、そこで前に得られた断面画像が分析コンピュータの1つに送られる。

経路1064経由でアクティビティブロック1066に達すると、受取られた画像によって決められる傾斜およびスライスを検出に識別するメッセージが分析コンピュータによって受取られる。次に画像は分析コンピュータによって分析され、その高速コンピュータプログラムは経路1068経由でディレクションブロック1070に送る。ブロック1070では、最も最近に得られたスライスが、そのXY観測位置でとられるべき最後のスライスであるかどうかチェックされる。さらに2スライスが必要なら、制御は経路1072経由でアクティビティブロック1074に渡る。ブロック1074では、XYZ位置決めテーブルは回路基板を2方向に移動させて、次の2スライスが得られるように位置づける。制御は次に経路1076経由でアクティビティ

ブロック1058に戻る。他の断面画像がブロック1058で得られ、それがブロック1062で分析コンピュータに送られて、ブロック1066で識別および分析される。ステップ1058、1062、1066、1070、1074を含む第1のループは、ディレクションブロック1070で現在のXY観測位置の最後の2スライスが得られたと判断されるまで繰返される。

最後の2スライスが得られると、制御は経路1078経由でアクティビティブロック1080に移されて、その特定のXY観測の検査が完了したことをメッセージが送る。たとえば、特定のXY観測が3つの異なるZレベルスライスが必要なら、第1のループが3回、各Zレベルに対して1回実行される。第1ループの3回目の実行が完了すると、メッセージがそのXY観測のすべてのデータが得られて分析されたことを送る。

第1のループとして識別されるステップのタイミング図が第13図で示されている。選ばれている時間の単位は1フレーム時間、または1/30秒であり、この割合で画像がビデオ信号としてカメラによって伝送される。第1ループサイクルの開始で、回路基板は望ましい検査位置に位置づけられて、X軸はオンとなり、カメラは画像を3フレーム時間(0.1秒)の間撮合することを始める。この0.1秒の間、回路は256およびXはソース280(第30図)が1回転する。時間3/30秒で始まる次の縦列フレ

ーム時間の間、画像がカメラ258によって「グラフ」されて画像分析コンピュータ272(第11図)の1つに送られる。その間、主コンピュータ272(第11図)はX軸の発生を停止させる第1のコマンド(これは電子ビーム285を第4図のビームストップ360に向けることによって達成できる)、および別の画像の取得のために回路基板を次の観測領域またはスライス位置に動かす第2のコマンドを実行する。この動きは典型的に0.1秒内で完了する。この0.1秒の間、回路基板は次の位置に動かされ止まる。このシステムは好ましくは、運動によって起こるいかなる機械的振動も0.1秒の時間の終わりまでには実質的に減衰されるように設計される。次にコンピュータはX軸の発生を再開させるコマンドを実行して、サイクルが繰返される。1枚の画像の取得のための典型的なサイクル時間はしたがって約0.2秒であり、1秒間に5枚の画像という速度に対応する。

成る画像を完全に分析するのにコンピュータが要する時間が0.2秒の画像獲得サイクル時間を超えても、この発明の1つの実施例は、第11図で示されている平行処理分析コンピュータ272を使うことによってリアルタイムの画像取得を行なう。平行処理アーキテクチャはシステムがいくつかの異なる作業を同時に行なうことを可能とする。たとえば、システムはいくつかの異なる画像を同時に分析しながら他の画像を取得することでもできる。したがって、

システムは次の順序を保持するまでに各回路分析が終わるのを待つ必要はない。分析コンピュータの最高台数は、西徳国連コンピュータリングが検査工程においてボトルネックとならないように、行なわれている回路分析の柔軟性に基づいて、決めることができる。

ブロック1080のXY線画の完了によって、制板は経路1082からアクティビティブロック1084に移され、そこでその特定のXY線画検査の増量が主コンピュータのメモリにストアされる。経路1086経由でディジコンブロック1088に進むと、XY線画識別がチェックされて回路基板の付加のXY線画が必要かどうかチェックされる。

付加のXY線画が必要なら、制板は経路1090経由でアクティビティブロック1054に移される。ステップ1054、1058、1062、1066、1070、1074、1080、1084、1088を含む第2のループが回路基板のプログラムされた画像位置がすべて得られて分析されるまで検査を実行される。

プログラムされた画像位置がすべて検査されると、制板は経路1092経由でアクティビティブロック1094に移って、検査が完了しボードをアンロードする時であることを示す。

経路1096経由でアクティビティブロック1098に進むと、前に検査した基板の検査結果は検査報告という形

で出力される。次に制板は経路1100経由でアクティビティブロック1050の検査ルーチンの最初に戻って、システムは他の回路基板の検査を始める用意ができる。

典型的な検査報告の例は第14図で示されている。報告の頭記が検査の日および時間1102、回路基板のモデル番号1104と検査した特定基板の図解番号1106を記述する。検査の結果は3列の表として作られて、電子名1108、欠陥が識別されたピン番号1110、そして識別された半田欠陥の種類1112が示される。この特定例では、U13として識別された電子では、ピン2および3との間に半田供給欠陥があることがわかる。同様に、電子R17はピン1に不十分な半田を有する。電子U13、R2、R17などは真鍮回路チップ、抵抗器、キャパシタなどのような典型的な電子部品である。さらに、検査報告は種々の欠陥および処理時間パラメータの傾向分析を与える統計的資料を提供することもできる。この検査報告は或る送会の期間にわたってマシンの操作の年代履歴図を示す運転要約を含むこともできる。運転要約はオペレータの型別、各オペレータの勤務交替に対する開始時間、停止時間および日付、そして各シフト中に処理された基板の数を含めたマシンの運用要約の報告を含むことができる。

上記に説明したルーチンを通じて回路基板全体を検査するのに要する合計時間は、いくつかの要因によって決定される。これらの要因の3つは、(1) 各XY線画位置に必

要な異なる2レベルのスライス(断面画像)の枚数、(2) 線画サイズの範囲、すなわち各別別の画像が包含する領域、(3) 回路基板の大きさ、すなわち検査すべき合計面積である。

典型的な回路基板検査は、基板の電子の接続面および半田接続部の形式に依存して、各XY位置に対して1から8枚の2スライスを要するかもしれない。検査の範囲は各画像に対して得られる検査面積であり、この発明の1つの実施例では約0.400インチ×0.375インチである。線画サイズのこの範囲は各ピクセルが0.0008インチの等級の寸法を有する高解像度画像に帰属する。最後に、特定の回路基板を検査するのに必要なXY線画および2スライスの数はマシンの操作で、必要な線画の合計数を決定し、これにより検査に要する合計時間が決定される。

たとえば、6"×9"回路基板(54平方インチ)は検査を要する面積が50平方インチを有するかもしれない。各線画範囲の0.15平方インチ(0.400インチ×0.375インチ)では、全体の基板を包含するのに約360のXYの線画位置が必要である。各位置に対して平均して2枚の2スライスが必要であると仮定すると、この特定の回路基板は完全な検査を行なうには720枚の画像を必要とする。1秒に9枚の画像の割合だと、この過程を検査するのに必要な合計時間は約1.4秒となる。

典型的な検査時間として、非常に簡単な回路基板に対す

る20秒から高解像度の検査を必要とするより大きいより複雑な基板に対する8分まで至る。

自動半田接続欠陥分析

本発明は特に、回路基板に接続された電子部品間の半田接続部の自動検査を行なうのに適する。1つの実施例では、半田接続部の高解像度のX線断面画像を得てコンピュータ制御デジタル画像処理手段によって画像を分析することによって達成される。この態様で分析することができる半田接続部欠陥の異なる種類は多数ある。しかし、自動半田接続部画像分析の一般的概念はいくつかの図式的例によって示すことができる。このような例は関係する接続点間の半田接続、或る接続部での不十分な量の半田、および或る接続部での半田の欠陥などを含む。

第15図は複数の半田接続部214によって相互接続されている複数の電子部品212と2150が上に位置づけられている典型的回路基板210の一部を示す。自動分析手段の説明を簡潔にするため、電子部品の特定の形式及び対応する半田接続部が詳細な説明のために抜粋されている。しかしこの発明は選択した特定の電子部品によって制限されるのではなく、またこの発明はいくつかの他の形式の電子部品、技術および電気接続部に応用できることは理解されるであろう。特に、表面実装技術を採用した電子部品が詳細に説明されるが、この発明はスルーホール・モット技術を含む他の多くの種類の回路基板技術に応用できる。

表面接合技術(SMT)はメタライズされたコネクタパッドを含む電子素子が回路基板の表面の対応するメタライズされたコネクタパッドに半田付けされる広く使われている技術である。第16図は接続される回路基板210の特定の位置の上面位置で示されている典型的なSMT素子212を示す。特に、電子素子212は電子回路で一般に使われそして境界ではリードレスチップキャリア(LCC)として知られているパッケージを含む。LCC212は複数のメタライズされたコネクタパッド1160a、1160b、1160c、…、1160nを含む。LCCが回路基板210の表面の上に位置づけられると、直接接続する対応するメタライズされた回路基板コネクタパッド1260a、1260b、1260c、…、1260nにそれぞれ位置づけられる。メタライズされたパッド1260は回路基板210の表面の上または表面近くで形成されて、種々の電子素子212および完全な回路基板アセンブリを含む1150を相互接続するための電気接続点を与える。

第17図は5図のメタライズされたコネクタパッド1160a/1260aから1160e/1260eの間に形成された半田接続部の一般的な視覚的外見を示すLCC212の部分の拡大図である。パッド1160eと1260eの間に形成された半田接続部1360は肉眼で見える欠陥を有しない良い接続部の列である。半田接続欠陥1370が隣接する半田接続部1360aと1360bの間

で示されている。不十分な半田を有する接続部1360cはパッド1160cと1260cの間で示されている。半田接続部1360dは視覚的に欠陥がないように見えるが内部的な欠陥を含む。パッド1160fと1260fの間の接続部1360fには半田が示されていない。

第18図は第17図で示されているLCC素子212の部分のX線断面図の外見を示す。断面図像によって示される面は回路基板210によって規定される面と平行であり、回路基板の表面上の約0.0005インチにある。素子212、素子接続パッド1160および回路基板接続パッド1260の位置を示す仮想線は参照の目的のためだけに示されており、実際の断面図像には存在しないかもしれない。指定断面図において画像領域1360a'、1360b'、1360c'、1360d'、1360e'、1370'は半田接続部1360a、1360b、1360c、1360d、1360e、そして欠陥1370にそれぞれ対応する。

半田接続欠陥の検出のための画像分析

半田接続欠陥は回路基板のトレースの間、接続パッドとトレースの間、2つの異なる接続パッドの間、または2つの別々の接続ピンの間の不要な半田の存在である。接続パッド1260aと1360bの間の接続欠陥図像1370'の位置での第18図の拡大部分が第19図で示されている。列および行を含む任意のピクセル格子が、接続欠陥を

検出するための自動手順の説明を援助するために示されている。

画像の各ピクセルはそのピクセルによって表わされている画像の光密度値に対応する強度値に関連づけられている。強度値は0(黒)から255(白)にわたるグレースケールを形成する。X線を簡単に暗める高強度の材料、たとえば半田の画像は、グレースケールの黒い端部に近いグレイの濃い明度に対応する比較的低い強度値によって表わされている。反対に、低い密度材料、たとえばプラスチック回路基板は、グレースケールの白い端部に近いグレイの薄い明度に対応する強度値を有する画像を作る。この種のグレースケールを有する画像は「陰像」像として知られている。グレイの明度と強度の関係は逆転させて一般に「陰像」像として知られているものを作ることができることは理解されるであろう。この発明において陰像または陰像どちらを扱うこともできるが、説明のために陰像が使われる。したがって半田材料を表わす画像の領域内のピクセル、たとえば領域1360'と1370'は比較的高い画像強度値に対応する。画像の他の領域のピクセルは低い密度材料、たとえばプラスチック回路基板を表わし、比較的低い画像強度値に対応する。

画像分析の最初のステップは、半田接続欠陥の検出および評価を行なうために必要なトポグラフィックデータ(topographic data)と検査パラメータを得ることを含む。こ

の発明の1つの実施例では、データファイルは行なわれている各画像分析に対してこの特定の情報を含む。回路基板が一旦識別されると、その特定のボードの形成に対するデータファイルが呼び出されて分析コンピュータメモリに入れられる。回路半田欠陥の存在のために画像を分析する昇圧は入力として、回路基板接続パッド1260の位置の中心(center)、その境界、所定のサーチ経路位置、および所定の差分グレイしきい値を使用する。第19図で示されている例では、データファイルは接続パッド1260の位置の中心1378は(C50、R75)の列および行ピクセル座標に位置づけられているという情報を含む。さらに、データファイルはパッド1260のピクセル幅はピクセル列番号C75とC25の間であり、パッドの長さはピクセル行番号R125とR25の間であるという情報も含む。回路半田欠陥分析を行なうのに必要な他の検査パラメータ、たとえば差分グレイしきい値、サーチ経路位置、寸法もデータファイルから検索される。

半田接続欠陥のための半田接続部の断面X線画像の分析手順は半田接続部1360e'に関して第19図で示されている。概して、断面画像の面は回路基板面と実質的に平行である面であり、回路基板の表面の約0.0005インチにある。この手順は表面から、中心の半田接続部のまわりを完全に囲むサーチ経路に沿って不必要な半田の存在の決定を一般に含む。

パッド1260aのトポグラフィックデータを使って、経路セグメント1380a、1380b、1380cと1380dを含むパッドの境界のまわりのサーチ経路1380を規定するために分析算法が始められる。サーチ経路は毎1ピクセル分であり、パッドの境界から所定の距離に位置づけられる。512の列および480の行を含むデジタル画像で約0.400インチ×0.375インチの回路基板の領域に対応する画素列では、1つのピクセル幅は回路基板の約0.00078インチの距離に対応する。第15図のパッド境界からサーチ経路への所定距離は、ピクセル列C95とC75の間の距離とピクセル行R5とR25の間の距離である。所定の距離は特定の分析応用の要求に合うように経験的に選択することができる。

サーチ経路1380を含む各ピクセルの画素強度は、サーチ経路の隣接するピクセルの強度と比較されて差分のグレイ値 ΔG を決定する。特定ピクセルの画素強度またはグレイ値は I_{k-1} によって与えられる。2つの隣接するピクセル1とピクセル2の間の差分グレイ値 ΔG_{k-1} はそれぞれの強度 I_1 と I_2 の間の差分をとることによって見つけられる。次に差分グレイ値 ΔG_{k-1} は所定のしきい値 ΔG_{th} と比較される。画像の平坦部分に1つのピクセルが位置づけられ、その隣接のピクセルが画像の回路基板部分に位置づけられる場合を示すしきい値が選択される。サーチ経路に沿った不要な半田の存在は、差分のグレイ値

がしきい値を越えると示される。

例に従って、サーチ経路1380の強度 I_1 を有する第1のピクセル(C95, R5)の角1382で始まって、列C95を上に進んで経路セグメント1380aの隣接するピクセルから強度 I_2 を有する第2のピクセル(C95, R6)へ進むサーチを考えてみよう。この開始位置は任意であり、サーチ経路に沿ったいかなる位置でもサーチを始める位置として選択することができることは理解されるべきである。これらの初めの2つの隣接するピクセルの差分グレイ値は以下で与えられる：

$$\Delta G_{k-1} = I_1 - I_2 = I_{C95, R5} - I_{C95, R6} \quad (17)$$

差分グレイ値の絶対値 $|\Delta G_{k-1}|$ がしきい値 ΔG_{th} よりも大きいまたは等しければ、ピクセルの位置および差分グレイ値の符号、すなわち正または負が欠陥の欠陥表示D₁としてストアされ、ここで1は欠陥表示が見つかった順番に対応する整数である。たとえば、D₁は開始位置1382から始まるサーチ経路1380に沿って最初に検出された欠陥表示と対応し、D₂は検出された2番目の欠陥表示に対応する等々となる。

第19図で示されている例では、第1の欠陥表示D₁はおおよそ(C95, R55)に位置づけられるピクセルKで見つけられている。ピクセルKが画像の平坦欠陥1370'部分にあるのなら、おおよそ(C95, R54)に位置づけられているサーチ経路にある前のピクセルK-1は太

平平坦部分の外にあり、ピクセルKよりもより高い強度値を有する。したがって、運動に選択された ΔG_{k-1} は、これらの2つの隣接するピクセルK-1とKの強度 I_{K-1} と I_K から引出された差分グレイ値 $|\Delta G_{K-1}| = |I_{K-1} - I_K|$ の絶対値よりも小さい。さらに ΔG_{K-1} は符号が正である。同時に、おおよそ(C95, R90)に位置づけられているピクセルMに第2の欠陥表示D₂が見つけられる。ピクセルMが画像の平坦欠陥1370'部分にあれば、おおよそ(C95, R91)に位置づけられているサーチ経路にある後のピクセルM+1は、平坦部分の外にあり、ピクセルMよりもより高い強度値を持つ。したがって、この2つの隣接するピクセルMとM+1の強度 I_M と I_{M+1} から引出された差分グレイ値 $|\Delta G_{M+1}| = |I_M - I_{M+1}|$ の絶対値は ΔG_{th} よりも大きい。さらに、 ΔG_{M+1} は負の符号である。こうして横断欠陥1370'の存在は、欠陥表示D₁が正であり次の欠陥表示D₂が負であるときに明らかとなる。

欠陥表示のためのサーチは経路全体が検査されるまで経路1380のまわりで続けられる。見つけられたすべての欠陥の報告は記録されて報告される。

平坦欠陥を自動的に直す工程を示すフローチャートが第20図で示されている。アクティビティブロック1400で始まって、分析される特定回路パッドのトポグラフィックデータおよびその他の検査パラメータは分析コンピュータメモリから呼び出される。経路1402経由でアクテ

ィビティブロック1404に進むと、回路パッドのまわりのサーチ経路は、コンピュータのメモリにストアされているトポグラフィックデータおよびその他の検査パラメータを使って規定される。次に制御は経路1406経由でアクティビティブロック1408に移されて、ここでサーチ経路の長さのピクセルカウンタ"i"および欠陥表示カウンタ"j"を1にセットすることによって初期化される。

アクティビティブロック1412、1416、1420、1424、1428と1434を含む第1のループが経路1410経由でアクティビティブロック1408から入る。第1のループでは、サーチ経路をなすピクセルが検査され、差分グレイ値が計算され、横断欠陥位置が識別され、必要なら処理するためにストアされる。ループの第1のアクティビティブロック1412では、サーチ経路の第1および第2のピクセルの差分グレイ値 ΔG_{k-1} が計算される。この値は経路1414経由でディレクションブロック1416に渡され、そこで差分グレイ値 $|\Delta G_{k-1}|$ の絶対値が所定のしきい値 ΔG_{th} と比較される。 $|\Delta G_{k-1}|$ が ΔG_{th} よりも大きいまたは等しければ、制御は経路1418経由でアクティビティブロック1420に渡される。アクティビティブロック1420では、ピクセル1と2の位置および ΔG_{k-1} の符号は第1の欠陥表示D₁としてストアされる。制御は経路1422経由でアクティビティブロック1424にわたって、そこで欠陥カウンタ

・j・が1つ増加される。1428のディシジョンブロックでは、経路1426経由で送られる第1ループの最終ブロックでは、全体のサーチ経路が検査されたかどうかを決定するために完了チェックが行なわれる。完了していなければ、制御は経路1432経由でアクティビティブロック1434におたつて、サーチ経路ピクセルカウンタ「i」が1つ増加される。次に制御は経路1436経由でアクティビティブロック1412の第1のループの初めに戻る。サーチ経路をなすすべてのピクセルが分析されるまで第1ループが繰返され、制御は経路1438経由で第1ループのディシジョンブロック1428からアクティビティブロック1440にわたる。

アクティビティブロック1440では、欠陥カウンタ「j」は、再度経路1442経由で第2のループに入る前に1の値に初期化される。第2のループはブロック1444、1448、1452と1458を含む。第2のループでは、第1ループで検出された欠陥表示D₁はサーチ経路に沿った半田橋接欠陥の位置を決定するために検査される。ディシジョンブロック1444の第2のループをj=1で入ると、欠陥表示D₁およびD₂の符号が決められる。もしD₁が正でD₂が負であれば、制御は経路1446経由でアクティビティブロック1448にわたって、そこでD₁とD₂の位置が記録されて半田橋接欠陥がD₁とD₂の間のサーチ経路セグメントにあると記録される。次に制御

は経路1450経由でディシジョンブロック1452にわたされて、欠陥表示D₁がすべて分析されたかどうかを決定するために完了テストが行なわれる。完了していなければ、制御は経路1456経由でアクティビティブロック1458にわたされてそこで欠陥カウンタ「j」が1つ増加される。次に制御は経路1460経由でディシジョンブロック1444の第2のループの初めに戻される。第1ループでサーチ経路に沿って見つけれられたすべての欠陥表示D₁が半田橋接欠陥に対して分析されるまで、第2のループが繰返される。次に制御は経路1462経由でディシジョンブロック1452からアクティビティブロック1464に渡る。ブロック1464では、サーチ経路に沿って見つけれられたすべての半田橋接欠陥の報告は作成されて後で呼出すためにストアされる。

欠陥または不十分な半田欠陥の

検出のための画像分析

欠陥した半田欠陥は、電子素子接続パッドと対応する回路基板接続パッドを含む接続部での実質的に0のまたは非常に少量の半田の存在として定義される。不十分な半田欠陥は、接続部に沿うかの半田があるが適切なフィレットを形成するまたは接続部に十分な強さを提供するのに十分でないものとして定義される。接続パッド1160cと1260cの間の不十分な半田欠陥面積1360c'の位置の第18図の拡大部分が第21図で示されている。列および

行を含む任意のピクセル格子が、欠陥したまたは不十分な半田欠陥を検出するための自動手順の説明を提議するために示されている。

欠陥半田または不十分な半田の欠陥の半田接続部の断面X線画像を分析するための手順が、半田接続画像1360c'に関して第21図で示されている。好ましくは、断面画像の図は回路基板の面と実質的に垂直である面であり、そして回路基板の表面上約0.0005インチにある。この手順は一般に画像から、いくつかの特定領域の半田接続部の厚さを測定するのを含む。

半田接続部の3つの特定領域が第22図に関して規定されている。第22図はたとえば接続部1360c'のような典型的に良品の半田接続部の断面図である。断面図に第17図のライン22-22に沿ったものである。素子接続パッド1160と回路基板接続パッド1260の間に保持されている接続部1360c'の第1の領域1501は接続部の「パッド」として示されている。素子212の隣接面1505からおよそ始まって、断面1505とパッド1260の境界1507の間の点1506までおよそ延在する第2の領域1502は、接続部1360c'の「かかと」部分として示されている。点1506でおよそ始まってパッド1260の境界1507までおよそ延在する第3の領域1503は接続部1360c'の「爪先」部分として示されている。

典型的に、パッド領域1501は比較的厚いほとんど均一な厚さの半田を含む。かかと領域1502は一般に不均等の厚さであり、接続部の最も厚い部分となる。爪先領域1503は一般にかかとと比べて厚さにおいてより均一であるが、それほど厚くはない。接続部1360c'をなす半田の厚さは3つの領域1501、1502、1503のそれぞれの半田の平均厚さの測定から算出される。

典型的に鉛と錫の混合体である半田材料のX線グラフ断面画像では、画像の強度と画像を形成する半田材料の厚さとの間に関係がある。第23a図はこの一般的な関係の例を示す。この例では、画像の強度は半田材料の厚さが増加するにつれ、グレイのより強い明度（白）に対応する値からグレイのより強い明度（黒）に対応する値に減少する。すなわち、半田の薄い部分の画像は、半田のより厚い部分の画像の画像強度値よりも高い画像強度値を有することになる。薄い部分の画像は、厚い部分の画像よりも強い明度のグレイを示す。この関係は異なる厚さの複数のステップを含むキャリブレーションステップウェアを使うことによってキャリブレートすることができる。このようなステップウェア1560の例は第23b図で示されている。ステップウェア1560は半田材料で構成されており、0.001インチの増加率で0.001インチから0.010インチにわたる厚さを有する1571から1580までの10個のステップを含む。ライン1590を含む

エッジのペース1592と平均である面とされたステップウェッジ1560のX線トモグラフィ断層画像は第23図で示されている。断層強度が半田厚さの関係を示す。ステップ1571から1580の厚さは既知であるので、対応する強度1571'からステップ1580'は厚さが知られていない半田材料の断層画像の強度と比較して知られていない厚さを決定することができる。

分析における最初のステップは、欠陥したまたは不十分な半田欠陥を検査および評価するための必要なトモグラフィックデータおよび検査パラメータの取得を含む。この1つの実施例は、行なわれる分析に対してこの特定の情報をデータファイルを与える。欠陥または不十分な半田欠陥の存在のために断層を分析する手法は入力として、接続パッドの質量の中心位置および境界、3つの検査窓、6つのしきい値を扱う。この例では、データファイルは接続パッド1260cの質量の中心1679は第21図の列および行ピクセル座標(C100, R62)に位置づけられているという情報を含む。さらに、データファイルは、パッド1250cのピクセル長さはピクセル列番号C50とC150の間の差分であり、パッドの経はピクセル行番号R75とR50の間の差分であるという情報を含む。分析を行なうのに必要な他の検査パラメータもデータファイルから検出される。

パッド1260cの面積1360c'の欠陥したまたは

不十分な半田欠陥分析のためのトモグラフィックデータおよび検査パラメータを使って、断層分析は第21図に示されているように、3つの検査窓1501、1602と1503の境界を規定するために進む。各窓は形状において長方形であり、パッドの境界および質量の中心から所定の距離に位置づけられている。第1の窓1601はピクセル座標(C55, R55)、(C55, R70)、(C85, R70)と(C85, R55)を有する4つの角によって規定される。窓1601は実質的に半田接続部のパッド領域1501に位置する。第2の窓1602はピクセル座標(C95, R55)、(C95, R70)、(C120, R70)、(C120, R55)を有する4つの角によって規定される。窓1602は実質的に半田接続部のかかと領域1502に位置する。第3の窓1603はピクセル座標(C125, R55)、(C125, R70)、(C145, R70)、(C145, R55)を有する4つの角によって規定される。窓1603は実質的に半田接続部の爪先領域1503に位置する。

窓の中の平均断層強度は、窓をなすすべてのピクセルの断層強度を計算して、加算に貢献するピクセルの合計数によって計算することによって決められる。こうしてパッド領域1601、かかと領域1602、爪先領域1603から引出された平均強度はそれぞれ I_1 、 I_2 、そして I_3 として示されている。前に説明したように、これら

の平均強度は、それぞれの領域の半田の平均厚さ T_e 、 T_f 、 T_g と直接関係する。欠陥したまたは不十分な半田欠陥の存在はこれらの平均厚さ T_e 、 T_f 、 T_g を所定の厚さしきい値 $Th_{n, e}$ 、 $Th_{n, f}$ 、 $Th_{n, g}$ と比較することによって決定される。一般に、 $Th_{n, e}$ 、 $Th_{n, f}$ と $Th_{n, g}$ の欠陥半田しきい値はそれぞれパッド、かかと、爪先の領域に対応し、不十分な半田しきい値 $Th_{i, e}$ 、 $Th_{i, f}$ 、 $Th_{i, g}$ よりも小さい。すなわち、 $Th_{n, e} < Th_{i, e}$ 、 $Th_{n, f} < Th_{i, f}$ 、 $Th_{n, g} < Th_{i, g}$ である。特に、もし $T_e < Th_{n, e}$ 、 $T_f < Th_{n, f}$ 、 $T_g < Th_{n, g}$ なら、接続部は欠陥した半田を有するものとして報告される。もし $Th_{n, e} < T_e < Th_{i, e}$ 、 $Th_{n, f} < T_f < Th_{i, f}$ 、 $Th_{n, g} < T_g < Th_{i, g}$ なら、接続部は不十分な半田を有するものとして報告される。

欠陥または不十分な半田欠陥を自動的に検出する手順を示すフローチャートが第24図に示されている。アクティビティブロック1700で始まって、分析される特定の接続パッドのトモグラフィックデータおよびその他の検査パラメータは分析コンピュータのメモリから引出される。第21702経由でアクティビティブロック1704に進んで、半田接続部のパッド、かかと、爪先の領域の検査窓は、コンピュータのメモリにストアされているトモグラフィック

データとその他の検査データを使って規定される。次に制御は経路1706経由でアクティビティブロック1708に渡され、そこで各窓の内の平均断層強度が決定されて対応する平均半田厚さが計算される。次に制御は経路1710経由でディレクションブロック1712に伝えられる。

ディレクションブロック1712では、窓内の平均半田厚さ T_e 、 T_f 、 T_g 及び T_i はそれぞれ不十分な半田厚さしきい値 $Th_{i, e}$ 、 $Th_{i, f}$ 、 $Th_{i, g}$ と比較される。平均厚さが不十分な半田しきい値よりも小さくなれば、制御は経路1714経由で分析ルーチンの最後に渡される。もし平均厚さが不十分な半田しきい値よりも小さくなければ、制御は経路1718経由でディレクションブロック1720に渡される。ディレクションブロック1720では、平均厚さ T_e 、 T_f 、 T_g は欠陥した半田厚さしきい値 $Th_{n, e}$ 、 $Th_{n, f}$ 、 $Th_{n, g}$ と比較される。平均厚さが欠陥半田しきい値よりも小さくなければ、制御は経路1722経由でアクティビティブロック1724に渡されてそこで不十分な半田欠陥が記録される。次に制御は経路1726経由で分析ルーチンの最後に渡される。ディレクションブロック1728において平均厚さが欠陥半田しきい値よりも小さくなければ、制御は経路1730経由でアクティビティブロック1730に渡されてそこで欠陥半田欠陥の存在が記録される。次に制御は経路1732経由でルーチンの最後に渡される。

ここで説明されているシステムおよび回路は基本的に印刷回路基板の上の半田接続部の検査のために開発された。しかし、この発明は他の対象物および特徴の検査のためにも有用であろう。上記の記述は印刷回路基板の上の電子部品間の半田接続部の検査に適用された発明の1つの好ましい実施例を含むが、当業者にとって明らかな他の応用もある。

この発明はその形状および本質的特性から離れることなく他の特定の形状で実施することができる。説明された実施例はいかなる点においても例示的であり限定するものではないというように考えられるべきである。したがってこの発明の範囲は前述の発明よりもむしろ添付の請求の範囲によって示される。この請求の範囲の考案の意味および範囲内に入るすべての変更はその範囲内に含まれるものとする。

FIG. 1

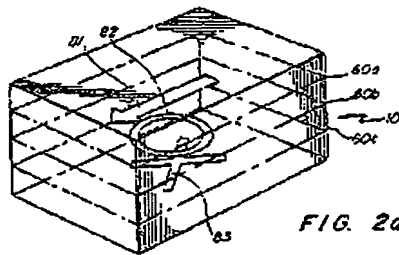
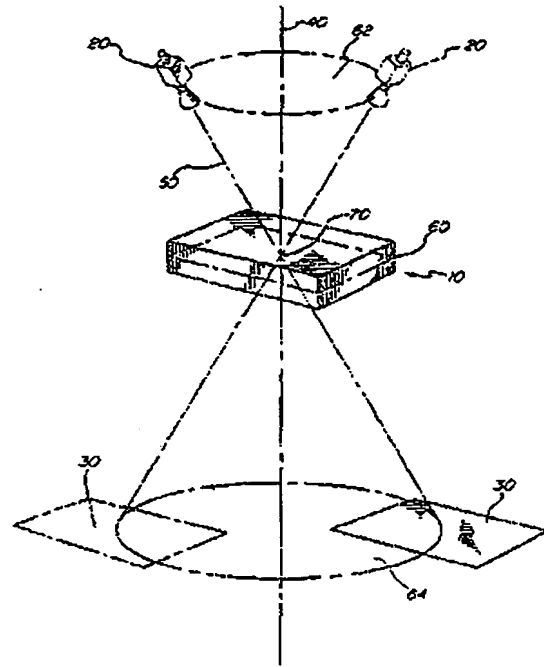


FIG. 2a



FIG. 2b



FIG. 2d

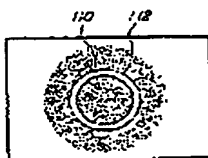


FIG. 2c

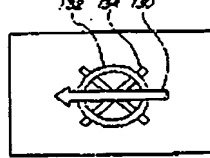


FIG. 2e

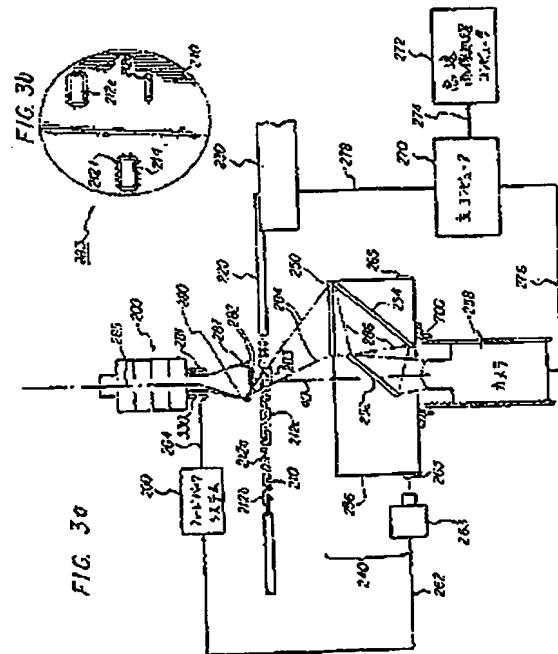


FIG. 3a

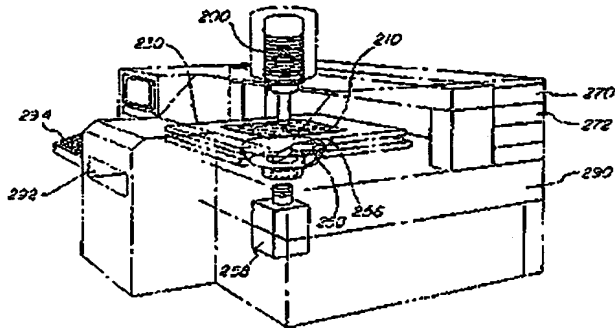


FIG. 3c

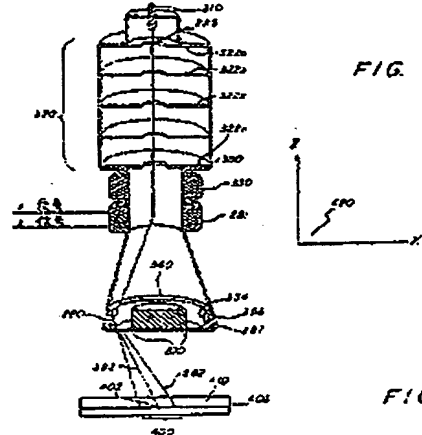


FIG. 4

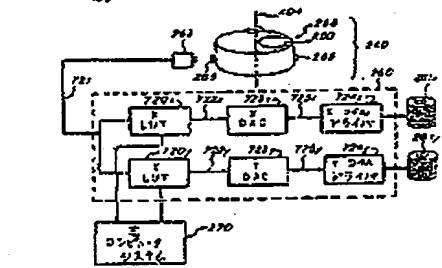


FIG. 8

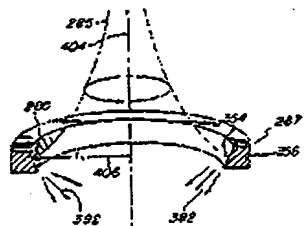


FIG. 5

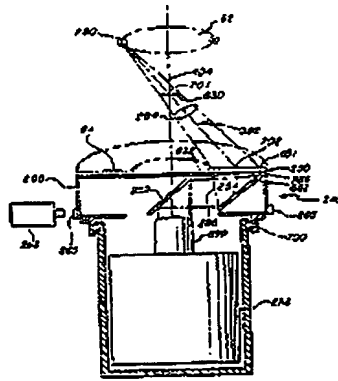


FIG. 6

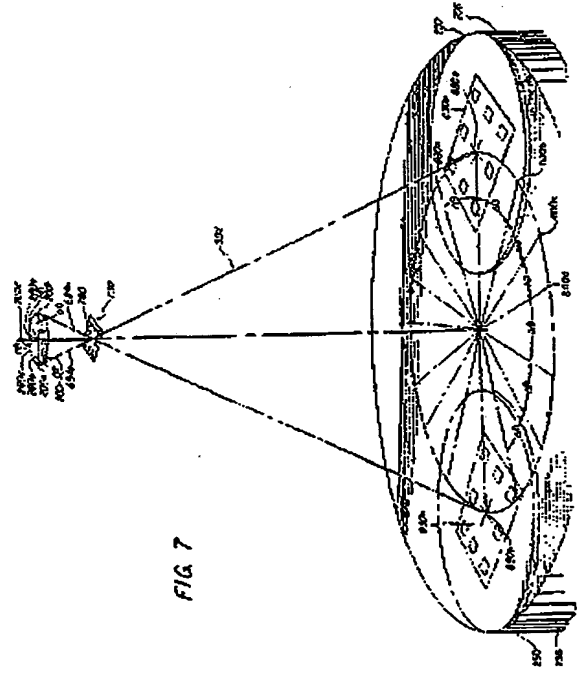


FIG. 7

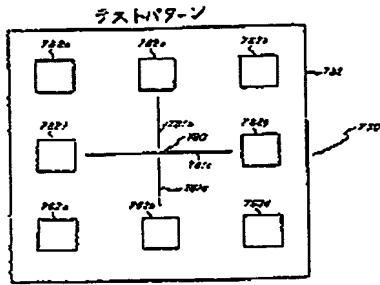


FIG. 9a

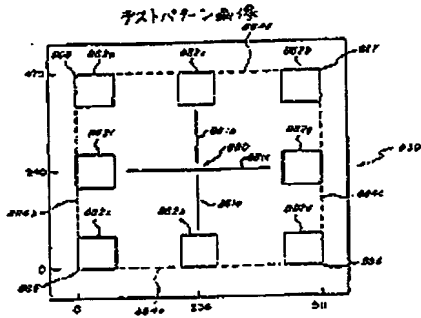


FIG. 9b

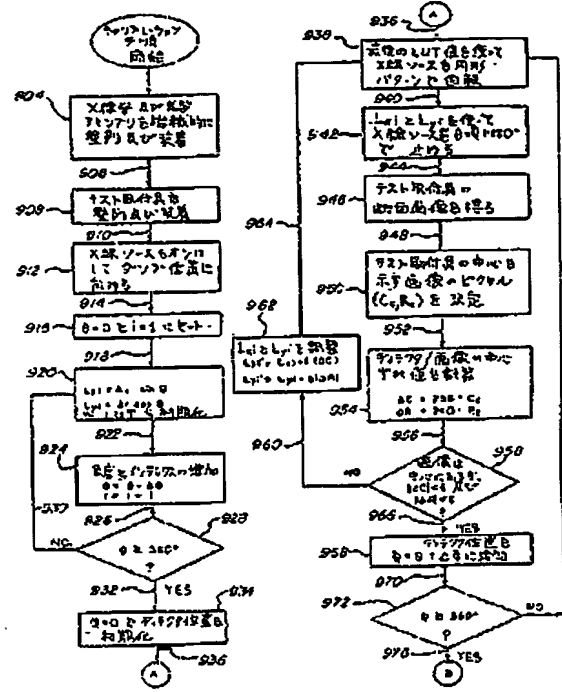


FIG. 10a

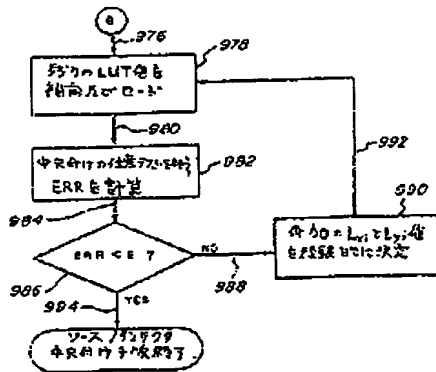


FIG. 10b

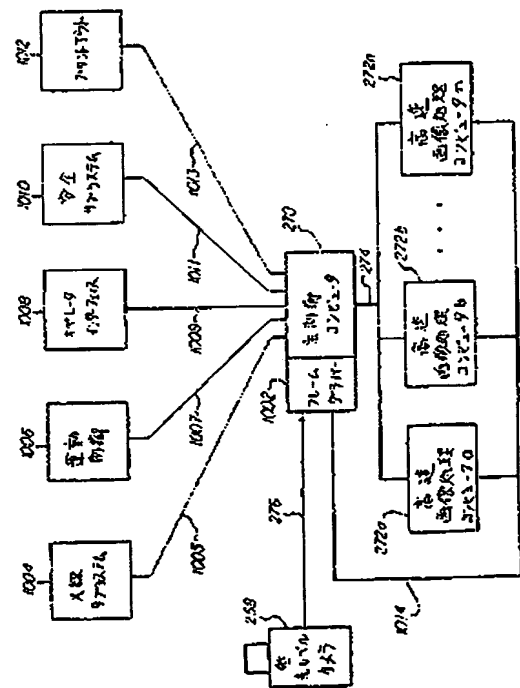
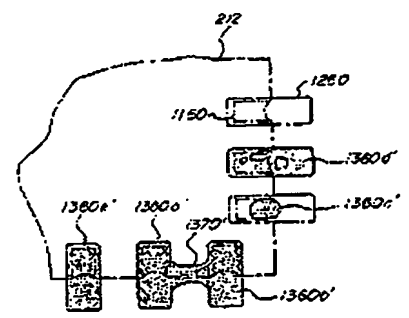
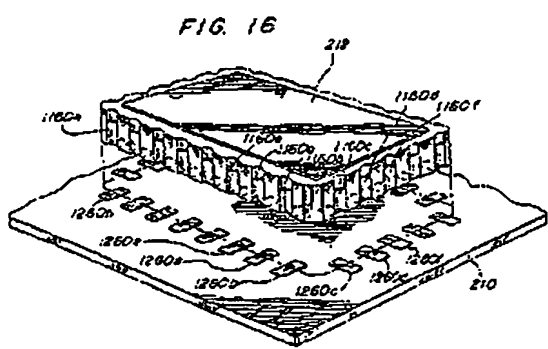
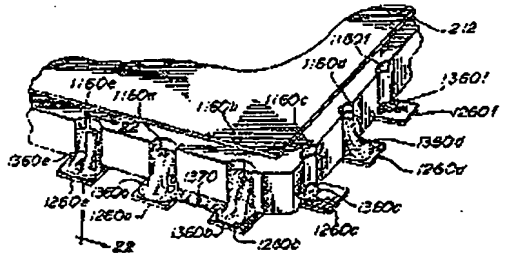
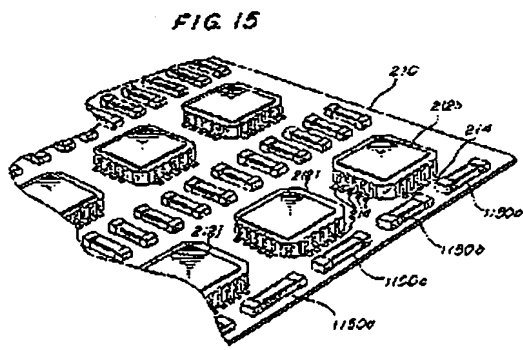
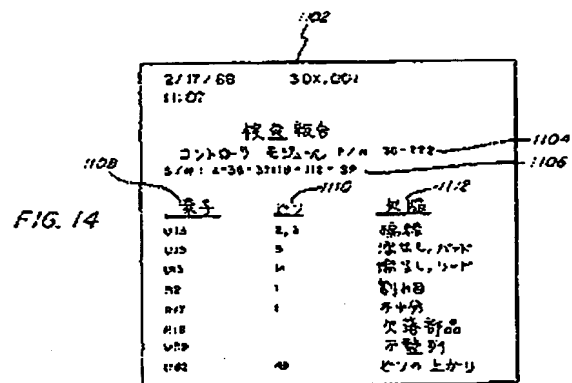
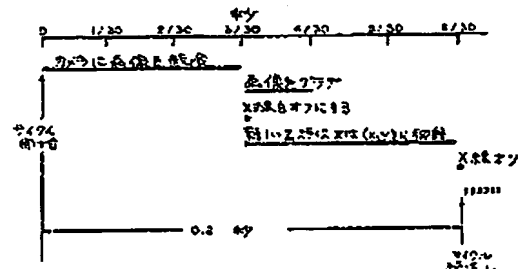
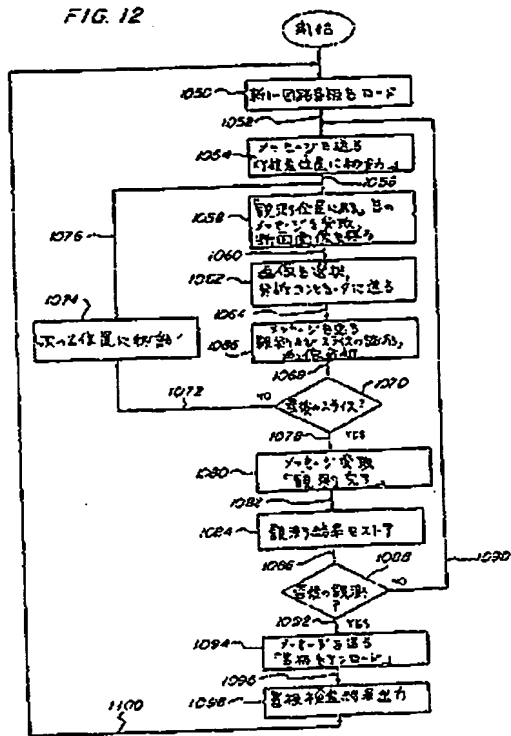


FIG. 11



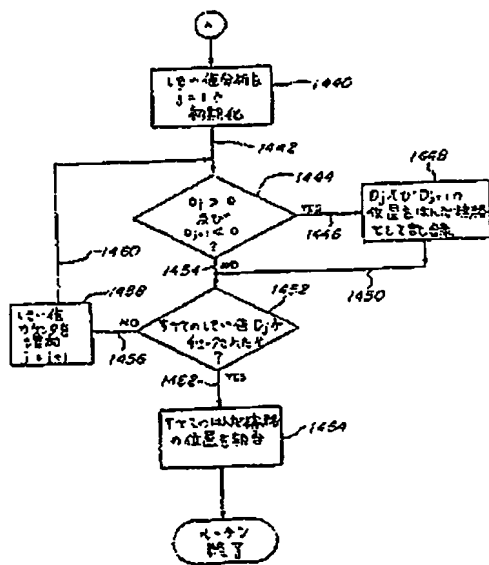
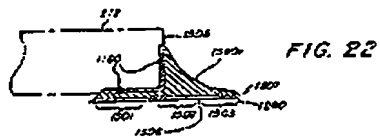
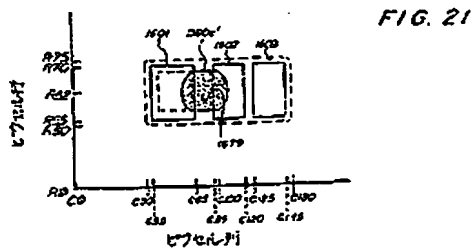
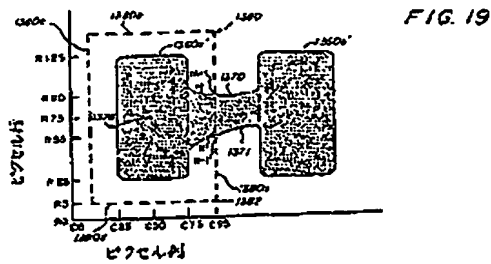


FIG. 20b

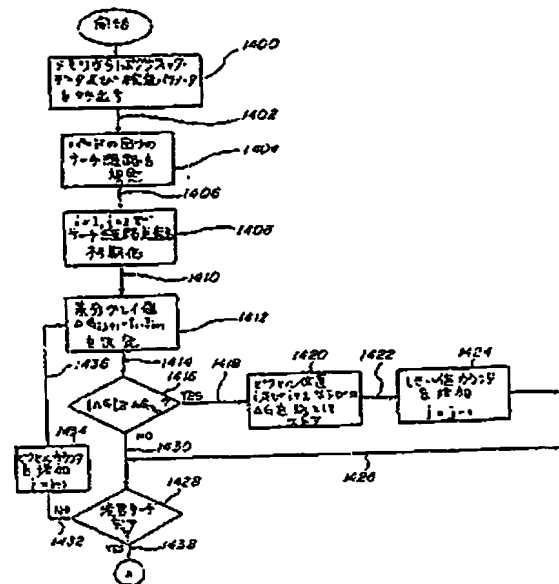
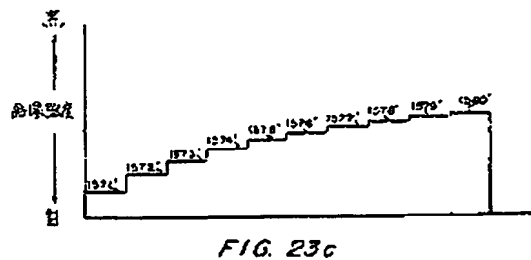
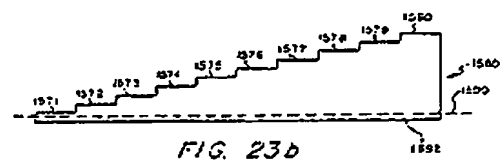
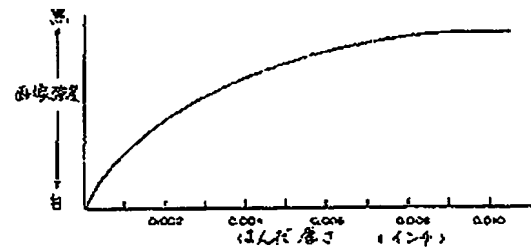


FIG. 200



平成2年1月16日

得許厚長官職

1. 事件の表示

國際出版商號: PCT/US88/03423

2. 発明の名称

エレクトロニクス検査のための自動ラミネグラフィシステム

3. 増正をする時

事件との関係 妙許出個人

セ 所 アメリカ合衆国、92127 カリフォルニア州

サン・ディエゴ、テクノロジー・プレイス、10905

名 称 ファー・ビー・アイ・システムズ・コーポレーション

代読者 コウリ、コノート・エス

4. 代理人

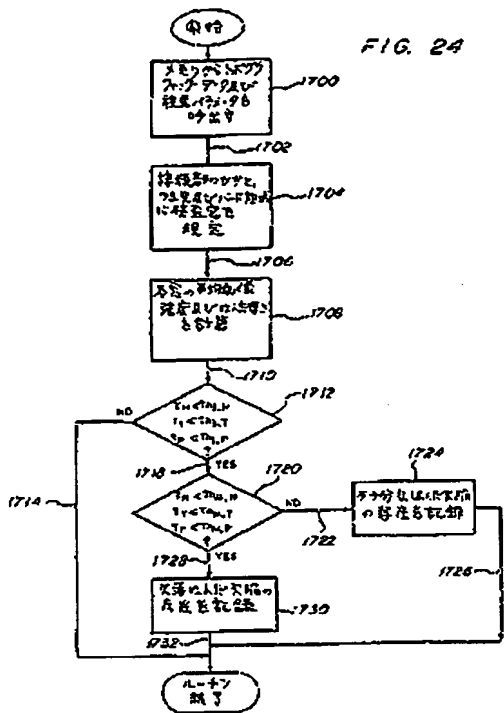
住 所 大阪市北区南堀町2丁目1番29号 住友銀行南堀町ビル

電話 大阪 (06) 361-2021 (代)

氏名 舟理士 (6474) 深見久郎

5. 補正命令の交付

自完補正



6. 補正の対象

明細書および図面

1. 修正の内容

(1) 明細書の第22頁第24行の「断面放射線写真」を「ラミノグラフ」に補正致します。

(2) 明細書の第23頁第2行の「断面放射線写真」を「ラミノグラフ」に補正致します。

(3) 明細書の第37頁第2行の「半径r」を「半徑r」に補正致します。

(4) 明細書の第45頁第14行の「720X」を「722X」に修正致します。

(5) 明細書の第60页第1行の「1012種
由で種々のサブシステム1004を」を「100
4から1012の種々のサブシステムを」に修正
致します。

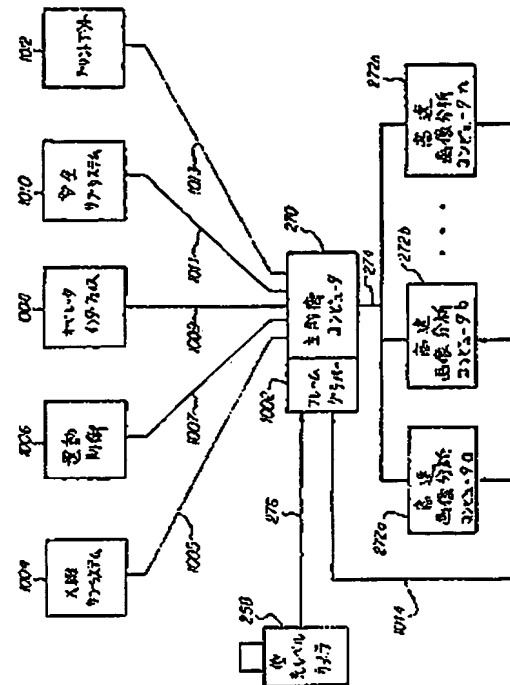
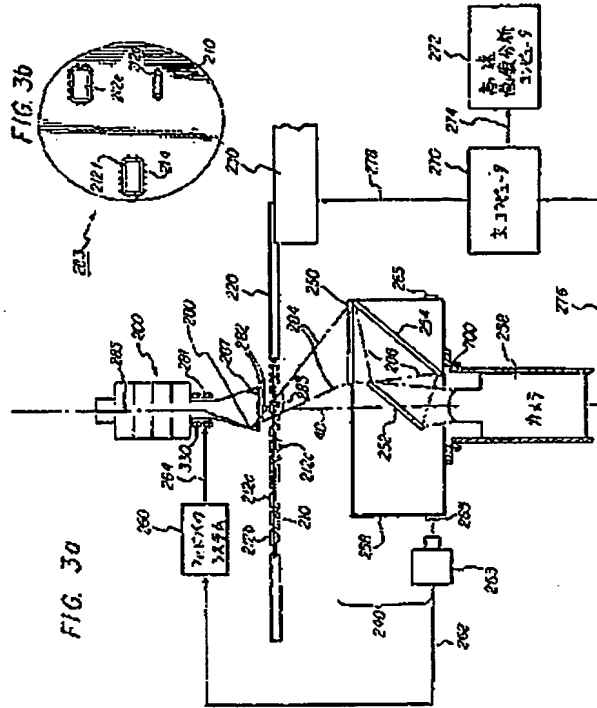
(6) 明細書の第75頁第4行の「 $I \Delta G_{k-1}$ 」を「 $I \Delta G_{k-1} \cdot u_i$ 」に修正致します。

(7) 図面の第 8 a 図を別紙のとおり補正致します。

〈 8 〉 図面の第 1 1 図を別紙のとおり補正致し

す、

以上

[illegible]

| IN DOCUMENTS CONTAINING NAME OR ADDRESS | | PCT/UBAA/Q-623 | |
|---|---|--|--|
| DATE OF DEATH | | DATE OF BIRTH | |
| N.Y. | DEB 1,126,611 (Susie et al) 25 October 1902 see the entire document. | 18-10-20 22-25 19-10, 22-17 | |
| Z | DBA, 2,752,515 (Carter) 29 August 1901 are the entire documents | 7-10 | |
| Z | DBA, 2,467,195 (Gardstein) 26 January 1920 see the entire document. | 1-2, 5, 8, 11, 13, 14, 16-40 51-55 | |

[illegible]

第1頁の続き

⑦発 明 者 アダムス, ジョン・エイ

著者 ロス, エドワード・ダブリュ

アメリカ合衆国、92025 カリフォルニア州 エスカンティード
ウ、バリー・グループ・レーン、615

アメリカ合衆国、92026 カリフォルニア州 エスカンティード
ウ、イーグル・ロツク・レーン、1329

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.